

Pr 3835

Septembre 1974
Trimestriel

fascicule 3

BULLETIN

D'ÉCOLOGIE



MASSON ET CIE

Tome 5

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

Secrétariat : 4, avenue du Petit Château, 91800 BRUNOY.

(Voir en p. III de couverture pour le règlement des cotisations à MASSON & C^{ie}).

Bureau :

Président : Pierre GRISON, Station de Zoologie et de Biocoenotique forestières La Minière, 78000 Versailles.
Vice-Président : Yvon DOMMERGUES, Centre de Pédologie du C.N.R.S., B.P. 5, 54500 Vandœuvre-les-Nancy.

Secrétaire général : Claude DELAMARE DEBOUTTEVILLE, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du petit Château, 91800 Brunoy.

Secrétaire générale adjointe : Mme Germaine RICOU, Laboratoire de Zoologie agricole, 16, rue Dufay, 76100 Rouen.

Trésorier : Jean-Marie TURMEL, Laboratoire de Biologie végétale appliquée, 61, rue de Buffon, 75005 Paris.

Secrétaire du Bulletin : Roger DAJOZ, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du petit Château, 91800 Brunoy.

Conseil :

AMANIEU Michel, Maître de Conférences, Laboratoire d'Hydrobiologie, Place Eugène Bataillon, 34060 Montpellier.

BELLAN Gérard, Chargé de Recherches au C.N.R.S., Station Marine d'Endoume, rue Batterie des Lions, 13007 Marseille.

BINET Paul, Professeur à la Faculté des Sciences, Laboratoire de Physiologie végétale, 14000 Caen.

BLONDEL Jacques, Chargé de Recherches au C.N.R.S., Station Biologique de la Tour-du-Valat, C.N.R.S., Le Sambuc, 13200 Arles.

BROSSET André, Maître de Recherches au C.N.R.S., Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du petit Château, 91800 Brunoy.

CERCEAU Didier, Ingénieur Agronome (ENSAT), 8, avenue de Valenton, 94190 Villeneuve Saint-Georges.

DELAMARE DEBOUTTEVILLE Claude, Professeur, Laboratoire d'Ecologie générale, 4, avenue du petit Château, 91800 Brunoy.

DOMMERGUES Yvon, Directeur de Recherches au C.N.R.S., Centre de Pédologie du C.N.R.S., Centre de Pédologie du C.N.R.S., B.P. 5, 54500 Vandœuvre-les-Nancy.

ECKARDT F., Section d'Eco-Physiologie du C.E.P.E., C.N.R.S., B.P. 5051, 34033 Montpellier.

GIUDICELLI Jean, Maître de Conférences, Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences Place Victor-Hugo, 13003 Marseille.

Mlle GOUNOT Anne, Maître de Conférences, Département de Biologie végétale, 43, bd du 11 nov. 1918, 69621 Villeurbanne.

GOUNOT Michel, Professeur, Institut de Botanique, 28, rue Goethe, 67083 Strasbourg.

GRAUBY André, Ingénieur, D.P.S./G.R.C., C.E.N. Cadarache, B.P. n° 1, 13115 Saint-Paul-les-Durance.

GRISON Pierre, Directeur de la Station de Zoologie et de Biocoenotique forestière, La Minière, 78000 Versailles.

JOURDHEUIL Pierre, Directeur de la Station de Recherches de lutte biologique et de zoologie, 37, boulevard du Cap, B.P. 78, 06600 Antibes.

LEFEUVRE Jean-Claude, Directeur de la Station Biologique de Paimpont, 35380 Plénan-le-Grand.

MARTINAT Michel, Architecte-Urbaniste, 13 à 17, rue Lucien Perquel, 95160 Montmorency.

MOREL Pierre, Vétérinaire-Inspecteur de la Coopération, 10, rue Pierre Curie, 94700 Maisons-Alfort.

RAMADE François, Professeur, Laboratoire de Biologie animale, Faculté des Sciences, 91400 Orsay.

REAL Pierre, Professeur, Laboratoire de Biologie et d'Ecologie animales, Route de Gray, La Bouloie, 25030 Besançon Cedex.

ROUGERIE Gabriel, Professeur, Institut de Géographie, 191, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

ROUX Albert, Maître de Conférences, Département de Biologie animale, 43, bd du 11 nov. 1918, 69621 Villeurbanne.

SOUCHON Christian, Maître-Assistant, Département d'Environnement, Université Paris VII et A.P.B.G., 28, rue des Pierrelais, 92320 Châtillon.

TURMEL Jean-Marie, Sous-Directeur, Maître de Conférences, Laboratoire de Biologie végétale appliquée, 61, rue de Buffon, 75005 Paris.

Membres étrangers du bureau :

Professeur DUVIGNEAUD, Centre national d'Ecologie générale, 28, avenue Paul Heger, Bruxelles 5^e (Belgique).
Professeur SACCHI, Istituto di Zoologia, dell'Università, Palazzo Botta, 27100 Pavia (Italie).

Dr. Ramon MARGALEF, Instituto de Investigacion, pesqueras, Paesó Nacional s/n Barcelona 3 (Espagne).

Professeur GIACOMINI, Ordinario di Botanica, Università di Roma (Italie).

Professeur STUGREN, Catedra de Biologie, Universitatea « Babes Bolyan », Str. Clinicilor 5-7, Cluj (Roumanie).

Pr 3835

Septembre 1974
Trimestriel

fascicule 3

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

BULLETIN D'ÉCOLOGIE

SOCIÉTÉ D'ÉCOLOGIE

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL

4, Avenue du Petit-Château
91800 BRUNOY, Essonne (France)

MASSON et C^{ie}
120, bd Saint-Germain,
75280 PARIS Cedex 06

Publié avec le concours financier du Centre National de la Recherche Scientifique

Tome 5



BULLETIN D'ÉCOLOGIE

— Tome 5 — 1974 — N° 3 — Septembre —

Articles originaux

F. RAMADE. — Crise de l'énergie et ressources. Quelques réflexions d'un biologiste	185
INAGAKI et LENOIR. — Une étude d'écologie évolutive : application de la loi de Motomura aux fourmis	207
F. BUGNON. — Compléments à l'étude de groupements sylvatiques submontagnards en Bourgogne calcaire : premières données microclimatiques et pédologiques	221
J. LAJUDIE. — Recherches sur la présence de réactions antagonistes entre <i>Rhizobium</i> et Actinomycètes	229
M. GRANDIN. — Action du froid et de la salinité sur le métabolisme minéral et sodique des hibernacles de <i>Glaux maritima</i> L.	233
B. THIÉBAUT. — Esquisse bioclimatique dans le département de l'Aude et les régions limitrophes	239
M.-L. DE CASABIANCA. — Faucheuse rotative verticale pour prélèvements quantitatifs d'algues libres et de faune en milieu lagunaire	259

Tribune libre

R. DE MILLER. — Crise de l'énergie et protection de l'environnement : quelques éléments de réflexion et morceaux choisis	265
--	-----

Résumés de thèses

J. CAPBLANCQ. — Recherches sur la productivité primaire des lacs d'altitude	281
B. COMPS. — Introduction à l'étude écologique du Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i> L.) en Aquitaine	283
B. BOUCHÉ. — Etude écologique, morphologique et géonémique des vers de terre en France	286
J. VERNEAUX. — Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie	287
H. LAVILLE. — Recherches écologiques sur les Chironomides (Diptera) des lacs de montagne	293
C. SOUCHON. — Caractérisation et étude éco-physiologique comparée d'écotypes stationnels de <i>Cardamine pratensis</i> L.	297

Analyses d'ouvrages	301
---------------------------	-----

CRISE DE L'ÉNERGIE ET RESSOURCES QUELQUES RÉFLEXIONS D'UN BIOLOGISTE

par F. RAMADE

Professeur à l'Université Paris-Sud, Laboratoire de Zoologie, Bât. 442, 91405 Orsay

SUMMARY

Energy crisis is much worrying at ecological standpoint. Exponential growth of fossil fuels consumption will lead rapidly to generalised shortages. Petroleum reserves, still not dwindling, will for a certainty sharply decline during the next decades.

In the short range, coal offers good opportunities of substitution to oil. However, world coal reserves would be exhausted at the turn of the next century if it becomes the main energy resource.

Nuclear energy cannot afford in no way an absolute alternative to fossil fuel light water reactors waste fissile materials and will lead to a very tight situation in Uranium supply within the next two decades. Avoiding of such consequences could only be done by supplanting all converters reactors by breeders reactors as soon as possible.

Whatever it was environmental problems will set the true limits of energy growth long before the advent of worldwide resources shortage.

Nature degradation by strip-mining, ocean and fresh water pollution by petroleum industry, air pollution by fossil fuels combustion, stream and coastal waters eutrophication, disposal of radioactive wastes highly injurious for human health cannot be prevented or even levelled in the prospect of unlimited growth of energy consumption.

The most obvious large energy resource and the best one at ecological standpoint lay in the solar radiation. However a great deal of research are required for rendering its use practicable.

But energy crisis stems also in the inefficiency of its use. In example, the displacement of rail-road traffic by automotive vehicles for freight and passengers travel has intensified the energy wastage and environmental impacts (loss of agricultural and forested land in ex.)

Accordingly energy crisis suggest urgent needs of structural changes in the technological western society.

RÉSUMÉ

La crise de l'énergie constitue aujourd'hui le plus grave problème d'environnement, car elle comporte d'innombrables causes de dégradation de la biosphère.

La croissance exponentielle de la consommation des combustibles fossiles implique à plus ou moins brève échéance de très graves pénuries en ressources. Appliquée aux diverses sources primaires d'énergie, la théorie du cycle de production d'une matière première permet de prévoir le pic d'extraction et la durée de l'ère utile pour les diverses formes de carbone fossile et pour les matières fissiles. Elle laisse entrevoir le déclin du pétrole dès 1990. L'énormité des réserves de charbon interdit certes, de craindre une pénurie catastrophique à brève

échéance, il n'empêche que l'on peut dès aujourd'hui prévoir leur extinction d'ici un siècle si la houille devenait la principale source énergétique. De même, l'énergie nucléaire se heurtera très vite à un grave déficit en matières fissiles par suite de la rareté des minerais d'Uranium à haute teneur car ce dernier est gaspillé dans les filières que l'on développe à l'heure actuelle. Seuls les surrégénérateurs, toujours au stade expérimental, et pour une durée indéterminée, permettraient de résoudre le problème des ressources en matières fissiles.

Mais les conséquences écologiques qui résultent de l'extraction et de l'usage des diverses sources d'énergie

primaire contraindrons notre civilisation plus vite encore que les limites en ressources, à une rapide transition vers un arrêt de la croissance énergétique.

Certes, l'élimination des déchets radioactifs et les risques inhérents à la pollution nucléaire inquiètent à juste titre, de nombreux biologistes. Toutefois, l'échauffement des eaux continentales ou littorales, et la contamination de l'atmosphère et des sols par d'innombrables produits de combustion comportent des risques tout aussi insidieux et encore plus préoccupants pour les espèces et les biocoénoses.

La domestication de l'énergie solaire et éolienne exige donc un urgent effort de recherches et développement, car il s'agit de ressources inépuisables et non polluantes.

Cependant, même dans l'hypothèse où la technologie mettrait à notre disposition ces importantes sources d'énergie naturelle, apparaîtraient certaines limites. Celles-ci résultent de l'espace considérable que consommeraient les installations de captage du flux solaire. Elles imposeraient aussi très rapidement un arrêt de la croissance énergétique.

Il aura donc fallu attendre le 17 octobre 1973 (1) pour que le grand public... et les hommes politiques au pouvoir en Europe occidentale commencent à prendre conscience d'un élément essentiel de la crise de l'environnement contemporaine : la relative rareté de certains combustibles fossiles et le mauvais usage qui en est fait. L'apparente prospérité économique de nos pays est, à vrai dire, pour une grande part, factice car elle implique le gaspillage de ressources naturelles peu abondantes et non renouvelables.

L'extraction et l'usage du pétrole s'accompagnent d'innombrables pollutions et de bien d'autres non-sens écologiques. Les marées noires et autres fuites d'hydrocarbures contaminent l'océan mondial, leur raffinage pollue les eaux continentales. L'implantation des raffineries saccage bien des sites littoraux et dévaste de riches terroirs agricoles car le choix de leur lieu d'édification faisait parfois douter du bon

Par ailleurs, la fin du gaspillage de l'énergie, propre à la société dite de consommation paraît tout aussi essentielle. L'examen du problème des transports, un des plus préoccupants en matière d'environnement dans les pays industrialisés révèle par exemple un gâchis considérable d'espace et d'énergie. Privilégier systématiquement la route au détriment du fer conduit multiplier par 7 la quantité d'énergie nécessaire par tonne/km. En outre, les transports routiers nécessitent la destruction de dix fois plus de surfaces agricoles ou forestières que les transports ferroviaires à capacité de transport égale. De même, la plupart des activités industrielles se traduisent aujourd'hui par le choix des fabrications les plus dispendieuses en énergie.

Une véritable mutation dans la structure de la civilisation technologique s'impose donc pour donner une solution rationnelle aux problèmes de ressources, de pollution, et de destruction des milieux naturels inhérents à l'extraction et à l'usage des principales sources d'énergie.

sens de certains « aménageurs ». L'utilisation de cette énergie chimique conduit aussi à de véritables aberrations économiques et dilapide l'espace naturel, ce qui aggrave la crise de l'environnement. Tel est en particulier le cas de l'insensé développement des transports routiers ou de la circulation automobile urbaine, grands dévoreurs d'espace et gaspilleurs de carburants. Lentement mais sûrement, voies express en tout genre, bretelles, autoroutes dévastent le milieu urbain et empiètent sans cesse sur les zones rurales, les massifs forestiers reculés et les rares îlots de nature miraculeusement conservés de notre vieille Europe. En outre, la prolifération automobile permet à une multitude maintenue de façon quasi délibérée dans une inconscience absolue des problèmes d'environnement de transformer peu à peu en décharges publiques les derniers espaces naturels dont nous disposons.

Par ailleurs, la boulimie énergétique propre aux pays industrialisés s'accompagne d'une contamination

(1) Date de la décision de « rétention » pétrolière par les pays arabes.

sans cesse accrue de l'air, des eaux continentales et des océans par d'innombrables substances polluantes produites par les combustions d'hydrocarbures fossiles. Cette contamination de l'atmosphère et des sols anéantit peu à peu les forêts circum urbaines. Elle menace de plus la santé humaine en un monde où la recherche du profit maximum prime sur toute considération d'hygiène publique. Les atermoiements opposés par les pétroliers à une désulfuration significative des fuels viennent par exemple à l'appui de notre affirmation. Il suffit pour s'en convaincre de songer aux conséquences épidémiologiques qui découlent de la pollution de l'air urbain par le SO_2 , en particulier à l'inexorable ascension de la bronchite chronique.

Mais le gaspillage énergétique n'apparaît pas seulement dans le domaine des transports. Il s'inscrit dans les plus infimes activités d'une Société dite de consommation qui pousse les citoyens de nos pays au rejet des objets usuels — plastiques, c'est à dire faits de pétrole — ou autres, non seulement quand ils sont usagés mais aussi lorsqu'ils sont passés de mode. En réalité, le gaspillage des ressources est implicitement érigé au niveau d'une institution dans les pays occidentaux et cela au stade même de la production industrielle : l'usure est incorporée dans la chaîne de fabrication depuis l'instrument le plus modeste jusqu'à l'automobile. Ainsi, les réfractaires résistants à l'action des mass media publicitaires n'ont même pas la possibilité d'entretenir un matériel irréparable et conçu pour un renouvellement rapide. On nous explique que cela fait croître le PNB. Les écologistes, quant à eux, considèrent qu'il s'agit plutôt d'une scandaleuse dilapidation de force de travail humaine, de matière et d'énergie. Tout cela nous rapproche de plus en plus vite du jour où la civilisation technologique sera plongée dans une insurmontable crise de ressources par suite de la nature exponentielle de la croissance. Enfin, la probabilité n'est pas identiquement nulle pour que la pénurie qui se serait auparavant installée ne conduise, au travers d'inéluçables tensions politiques, à un conflit thermonucléaire.

En des temps où la question des disponibilités énergétiques est d'une brûlante actualité, il n'est pas

inutile de s'interroger sur la réelle valeur de ces ressources et sur la nature des diverses solutions de remplacement envisageables à moyen et long terme.

I. LES RESSOURCES EN COMBUSTIBLES FOSSILES.

De nos jours, le pétrole constitue la principale source d'énergie des pays occidentaux, bien que son utilisation comme carburant représente un sacrilège comparable à celui commis par nos ancêtres qui détruisaient les forêts pour les transformer en charbon de bois. De façon plus générale, nous vivons à l'ère des combustibles fossiles dont le gaz naturel et le charbon représentent les autres catégories les plus employées. Les diverses formes de carbone fossile assurent environ 95 % de la consommation d'énergie de la civilisation industrielle. Leur prépondérance persistera jusqu'à la fin du siècle même si l'énergie nucléaire voire d'autres sources plus exotiques (vent, soleil) tendront de plus en plus à les concurrencer dans le futur.

Ressources en pétrole.

En 1972, la part des produits pétroliers dans la consommation énergétique totale s'élevait à 76 % au Japon, 63 % en Europe occidentale, 48 % aux Etats Unis et seulement à 26 % dans les pays socialistes.

Les tonnages de pétrole extraits chaque année sont très considérables : 2,6 milliards de tonne en 1972 dont 800×10^6 t. furent consommées par les seuls Etats Unis !

La production pétrolière augmente rapidement. Son taux de croissance a été de 5,9 % par an (2) entre 1860 (3) et 1965. De 1960 à 1972, les quantités extraites sont passées de 1,051 à 2,599 $\times 10^9$ t. Dans ce laps de temps son taux de croissance annuel moyen s'est élevé à 7,85 %. On assiste donc à une accélération de la croissance des besoins !

(2) Temps de doublement moyen de la production = 11,7 ans.

(3) Date du premier forage à Titusville (Pennsylvanie).

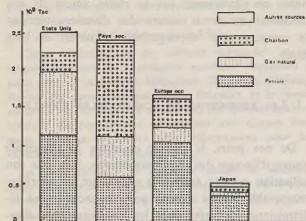


FIG. 1. — Consommation d'énergie dans les pays industrialisés en 1972, exprimée en 10^9 t.e.c. (t.e.c. = tonne d'équivalent charbon).

Une telle boulimie énergétique conduit à s'interroger sur l'ordre de grandeur des réserves disponibles et techniquement exploitables qui permettraient d'y subvenir.

On peut répondre à cette question par un ensemble de méthodes mathématiques, statistiques et géologiques qui dépassent de fort loin le cadre de cet exposé mais dont nous allons essayer de schématiser les principes.

Cycle de production d'un combustible.

Un combustible fossile, ou n'importe quel autre matériau de l'écorce terrestre, se rencontre en gisements discontinus dont l'exploitation dans le temps peut être figurée sous forme de divers diagrammes. A partir de la mise en exploitation, la quantité totale produite Q_p augmente et tend vers une valeur maximale Q_∞ au fur et à mesure que le gisement s'épuise.

Le taux de production

$$p = \frac{\Delta Q_p}{\Delta t}$$

représente la quantité de combustible produite dans un intervalle déterminé.

Si l'on figure l'évolution de ce taux de production en fonction du temps depuis la mise en service

jusqu'à l'épuisement total du gisement celui-ci s'ajustera sur un graphe, courbe représentative de la relation :

$$p = \frac{dQ_p}{dt}$$

Une telle courbe s'accroîtra d'abord de façon exponentielle jusqu'à un maximum de la vitesse d'exploitation

$$V_p = \frac{dP}{dt} = \frac{d^2 Q}{dt^2}$$

puis cette vitesse décroîtra et s'annulera au point où culmine le taux d'extraction, ensuite ce dernier va décroître de façon symétrique par rapport à la phase ascendante de la courbe. D'abord la vitesse de décroissance s'accroîtra puis elle diminuera au fur et à mesure que le gisement s'épuisera (fig. 2).

Quand $t \rightarrow \infty$, la quantité totale extraite tend vers Q_∞ , quantité totale des réserves contenues dans le gisement.

$$Q_\infty = \int_0^\infty P dt$$

L'Ere utile d'un gisement — ou d'une matière première donnée si le raisonnement est extrapolé au niveau mondial — se définit comme la durée d'exploitation nécessaire pour épuiser les 80 % de quantité totale des réserves existantes. On consi-

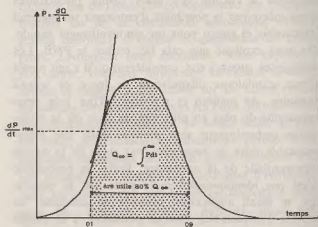


FIG. 2. — Théorie du cycle de production d'un combustible. Remarquer que la courbe réelle se confond avec une exponentielle jusqu'au point d'inflexion où dP/dt est maximum (D'après HUBBERT, 1969, de même que les figures 3 à 7).

dère que l'ère utile commence quand 10 % de la quantité ont été extraits et s'achève quand on a utilisé 90 % de cette même valeur (fig. 2). Autrement dit, l'ère utile correspond à 80 % de la production intégrée.

Non moins importante sont les courbes qui donnent les variations dans le temps du taux des réserves découvertes

$$D = \frac{dQ_d}{dt} \quad (3)$$

et la quantité de réserves prouvées

$$Q_p = f(t) \quad (4)$$

Diverses considérations mathématiques montrent que les courbes représentatives des quantités cumu-
lées de réserves découvertes Q_d et des quantités cumu-
lées de combustibles produites (= extraites) Q_p sont des sigmoïdes (fig. 3).

A l'instant t

$$Q_d = \int_0^t D dt \quad \text{et} \quad Q_p = \int_0^t P dt \quad (s \text{ et } S')$$

Enfin, Q_r , Q_d et Q_p sont liés par la relation

$$Q_d = Q_p + Q_r \quad (6)$$

Il est assez évident que lorsque que $t \rightarrow \infty$

$$Q_p \rightarrow Q_d \quad \text{tandis que} \quad Q_r \rightarrow 0$$

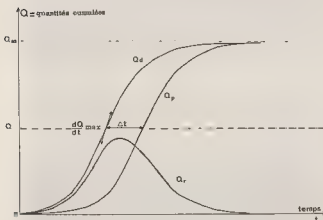


FIG. 3. — Variation en fonction du temps des quantités totales de combustibles découverts (= découvertes cumulées Q_d), extraits (= production cumulée Q_p) et restant en réserve (Q_r).

Par ailleurs, Q_d et Q_p sont décalés d'un intervalle d'un intervalle de temps Δt corollaire de la relation (6). De façon plus concrète, l'exploration précède toujours l'exploitation.

Un point remarquable des courbes dQ_d/dt et dQ_p/dt est représenté par leur intersection. Celle-ci est située à mi-distance du taux maximum de découvertes et du taux maximum d'exploitation. En ce point, le taux d'extraction continue de croître tandis que celui de découverte est déjà déclinant (fig. 4). Enfin, cette intersection marque l'instant où est connue la quantité maximale de réserves prouvées Q_r .

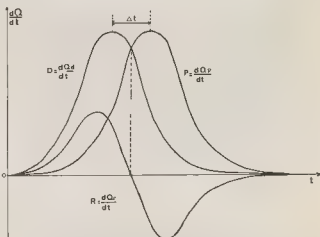


FIG. 4. — Variation en fonction du temps des taux d'extraction (dQ_p/dt) et de découvertes (dQ_d/dt). L'intersection des deux premières courbes permet de connaître Δt avec précision et donc de prévoir le pic de production.

Un autre point remarquable sur la courbe dQ_p/dt est celui où la vitesse d'accroissement du taux d'extraction d^2P/dt^2 atteint son maximum. A partir du moment où se situe cette inflexion va apparaître un déficit entre la valeur du taux d'extraction et celle de la demande. De ce fait, cette date marque le début de la période où le retour à une autre source énergétique s'impose pour compenser le déficit si l'on veut maintenir la croissance de la consommation en énergie (exponentielle sur la fig. 2). Si maintenant, on désire au contraire faire plafonner la consommation d'énergie à la valeur équivalente à un taux d'extrac-

tion vers une autre source devra s'accomplir avant que ne soit atteint le maximum de $P = dQ/dt$.

Les statistiques de forage et d'exploitation fournissent le début des courbes Q_g , Q_p et Q_r ainsi que celui de leurs fonctions dérivées.

Les mêmes données statistiques, quand dQ_g/dt a déjà atteint son maximum, ou à défaut des considérations géologiques, permettent d'évaluer le Q_{∞} pour chaque type de combustible. Q_{∞} est une estimation des réserves totales existantes. Ces divers éléments permettent de calculer avec une approximation raisonnable la durée de l'ère utile de chaque source d'énergie et par conséquent les dates où plafonnera l'extraction.

L'application de ces diverses considérations théoriques a permis divers spécialistes d'estimer la quantité totale de réserves et la durée de l'ère utile des divers types de combustibles fossiles. Les prévisions les plus crédibles qui avaient été faites en ce domaine sont celles de HUBERT et RYMAN pour le gaz naturel et le pétrole et celles d'AVERRIT pour le charbon.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble de ces données pour les principaux types de combustibles fossiles.

Enfin, les sables et les schistes bitumeux, auxquels la grande presse et même... certains technocrates « spécialistes » des problèmes énergétiques se réfèrent souvent de nos jours comme substituts possibles au pétrole, n'offrent aucune opportunité concrète en l'occurrence. Encore ne prenons-nous point en considération les difficultés technologiques à surmonter pour extraire dans des conditions économiques acceptables les hydrocarbures contenus dans ces roches.

Le tableau II figure les réserves prouvées (1972) en divers combustibles fossiles. Il met nettement en évidence la prépondérance du charbon.

Les réserves prouvées actuelles de pétrole (90×10^9 t) paraissent particulièrement faibles. Elles représenteraient 36 ans de consommation mondiale sur la base de 1972. Mais en réalité, ce raisonnement est fallacieux car il faut prendre en compte la croissance des besoins qui a été de 12 %/an ces dernières années. Supposons que la croissance de la consommation mondiale de pétrole se stabilise dans les années à venir aux taux de 8,5 %/an atteint en 1973 malgré la « rétention » pétrolière. Les réserves prouvées à l'heure actuelle seraient épuisées dans ces conditions au bout de 16 ans soit en 1988 !

TABLEAU I

Estimation des quantités des principaux types de combustibles fossiles exploitables dans les conditions technologiques actuelles existant dans l'écorce terrestre

Nature du combustible	Quantité	Energie contenue 10^{15} KWh thermiques	% du total d'énergie disponible représenté par ces sources
Charbon (houille + lignite)	$7,6 \times 10^{12}$ t	55,9	88,8
Gaz naturel	280×10^{12} m ³	2,94	4,7
Pétrole	320×10^9 m ³	3,25	5,16
Sables + schistes bitumeux	78×10^9 m ³	0,83	1,3

Ce tableau met en évidence plusieurs faits essentiels. Tout d'abord le charbon constitue de fort loin le plus important combustible fossile avec près de 90 % des réserves totales disponibles.

A l'opposé le pétrole se présente comme une source d'énergie fossile assez rare

En réalité, l'estimation des réserves réellement existantes permet heureusement de prévoir une plus longue durée pour l'ère utile de ce combustible.

Toutefois les statistiques de forage, c'est à dire l'aspect de la courbe réelle dQ_d/dt et l'inventaire des gisements pétroliers connus n'incitent pas à

TABLEAU II*

*Réserves prouvées en combustibles fossiles exprimées en tonnes d'équivalent charbon et en pourcentage total mondial***

Région	Charbon + lignite		Gaz naturel		Pétrole	
	en 10 ⁶ t.e.c.	%	en 10 ⁶ t.e.c.	%	en 10 ⁶ t.e.c.	%
Amérique du Nord	300 000	17	129 000	20	9 500	7
Amérique latine	33 000	0,43	13 000	2	7 000	5
Proche Orient	1 000	0,01	107 000	16,6	76 000	56,3
Afrique	87 000	1,1	70 000	10,8	5 200	3,8
Asie (sans Chine)	133 000	1,7	13 000	2	3 100	2,3
Océanie	46 000	0,6	6 000	0,9	400	0,3
Europe occidentale	118 000	1,5	63 000	9,7	3 000	2,2
Pays socialistes ***	5 935 000	77,5	244 000	37,8	21 400	15,8
Totaux	7 653 000	100,00	645 000	100,0	135 000	100,0

* Source O.N.U.

** 1 t. de pétrole = 1,5 t.e.c. - 1 t de lignite = 0,5 t.e.c.

*** Chine incluse, décomptée à part, celle-ci possède $1\,000 \times 10^6$ t. des réserves mondiales de charbon soit environ 12 % du total

l'optimisme. De jour en jour, ces derniers sont situés plus profondément dans les couches sédimentaires ou plus loin en mer. La quantité de pétrole découverte par mètre de forage décroît d'une année à l'autre en de nombreuses régions, en particulier en Amérique du Nord (fig. 5). Ces faits permettent de comprendre certaines déclarations pessimistes sur l'avenir du pétrole comme celle d'un responsable de l'EDF : « Parier sur le pétrole à long terme, c'est affirmer que l'on aura mis en évidence 280 milliards de tonnes en l'an 2000... c'est énorme si l'on constate que depuis 10 ans, on a seulement découvert 15 milliards de tonnes de gisements nouveaux » (A. ROBIN, 1971) (4).

L'étude classique faite par RYMAN, de l'Esso Standard de New Jersey (Exxon) a permis de calculer la durée de l'ère utile du pétrole. Cet auteur

s'est fondé sur diverses considérations géologiques approfondies pour fixer le Q_{∞} du pétrole à $2\,100 \times 10^9$ barils (5), soit à environ 330×10^9 t. Il suppose que le taux de récupération — masse de pétrole extrayable — est égale au 40 % de la quantité totale présente dans les roches réservoirs, évaluation assez optimiste dans les données techniques actuelles.

HUBBERT (1969) avance un chiffre plus faible, $Q_{\infty} = 1\,350 \times 10^9$ soit 215×10^9 t. Cet auteur tient compte du fait que les réserves actuellement existantes aux Etats Unis, où le pic de la courbe de production a déjà été atteint (fig. 5.) se sont avérées de 50 % inférieures aux prévisions de WEEKS. Or, l'estimation de RYMAN est une extrapolation à l'ensemble du globe des données de WEEKS pour les Etats Unis.

Malgré l'incertitude inhérente à ces deux évaluations du Q_{∞} pour le pétrole, elles ont le mérite de donner une fourchette valable entre laquelle doit se situer avec une probabilité très élevée la quantité totale de réserves disponibles.

(4) A titre d'exemple, les réserves totales de pétrole contenues dans la mer du Nord, que la presse présente souvent comme un véritable pactole pétrolier, sont estimées à 2×10^9 t soit pas même deux années de la consommation européenne en 1980 ($1\,350 \times 10^9$ t). De même les réserves du fameux gisement de la baie de Prudhoe, en Alaska, mises en exploitation au prix d'un véritable écosystème de ces régions de toundra, représentent à peine douze années de la consommation américaine actuelle, donc en réalité beaucoup moins compte tenu de la croissance de la demande

(5) Un baril — 158,6 litres.

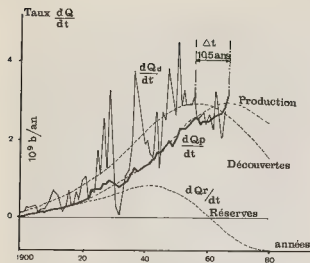


Fig. 5. — Exemple d'application de la théorie du cycle de production d'un combustible: le cas du pétrole aux Etats-Unis. Les courbes en traits pleins figurent l'évolution des taux de réserves prouvées et d'extraction depuis 1900, celles en pointillés, les graphes théoriques calculés sur ordinateurs, sur lesquels elles s'ajustent. On voit que le taux maximum de découvertes a été atteint dans la seconde moitié des années 50 et précédé de 10,5 ans le pic de production atteint en 1968.

Compte tenu de l'aspect du début de la courbe de production du pétrole, connue depuis 1860, et de l'estimation faite par RYMAN du Q_{∞} (2100×10^9 b), le calcul montre que l'ère utile durerait 64 ans. Elle a commencé vers 1965 et s'achèvera en 2029, le taux maximum dQ_p/dt d'extraction serait atteint en 2000 puis décroîtrait rapidement.

Si l'on refait le calcul avec pour base l'estimation de HUBBERT ($Q_{\infty} = 1350 \times 10^9$ barils) on trouve une durée de 58 ans pour l'ère utile. Celle-ci serait comprise entre 1960 et 2018 et le pic de production serait atteint en 1989 (fig. 6).

Un fait remarquable s'impose lorsque l'on compare ces deux courbes de production. Augmenter de 50 % la quantité de réserves disponibles ne fait gagner que 6 ans sur la durée de l'ère utile, soit à peine 10 % de sursis pour la période d'utilisation (58 ans)! Cela tient à la nature exponentielle de telles courbes qui met en évidence la caractère illusoire sinon erroné de toute prospective simpliste fondée sur des raisonnements arithmétiques...

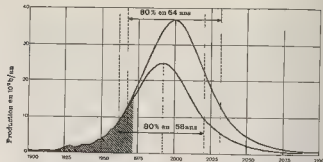


Fig. 6. — Aspect des courbes de production du pétrole mondial pour deux valeurs du Q_{∞} . La partie hachurée représente les quantités déjà extraites. Noter que sur la base du taux de croissance moyen observé jusqu'à ce jour, la durée de l'ère utile sera au maximum de 64 ans dans l'hypothèse haute; elle a commencé en 1965 et s'achèvera en 2029. Pour l'hypothèse basse ($Q_{\infty} = 1350 \times 10^9$ b), l'ère utile s'échelonnait de 1960 à 2018 et le pic d'extraction serait atteint en 1989.

Ces diverses considérations nous révèlent aussi que même si l'on ralentit voire annule la croissance de la consommation pétrolière, la transition vers d'autres sources d'énergie s'impose dès à présent et devra être accomplie d'ici tout au plus une vingtaine d'années.

Sables et schistes bitumineux.

Il s'agit de roches qui renferment des quantités appréciables d'hydrocarbures de haute viscosité ou solides.

Les sables pétrolifères de l'Alberta, au Canada, constituent le mieux connu de ces dépôts sédimentaires. Le plus grand gisement est celui de l'Athabasca près de Fort Murray. Les interstices de ces sables sont imprégnés d'un pétrole très visqueux ce qui interdit sa récupération par les procédés classiques de forage. En revanche, sa composition chimique très proche du brut permet son traitement dans des raffineries classiques.

Aucun inventaire mondial des sables bitumineux n'a été réalisé sur le plan quantitatif. Cependant, les gisements de l'Alberta figurent de fort loin les plus importants du globe selon les géologues. Ils renferment quelques 47×10^9 t d'hydrocarbures récupérables soit environ la moitié du total des réserves mondiales prouvées de pétrole.

TABLEAU III

Quantités d'hydrocarbures contenues dans les schistes bitumineux (estimation de 1965)

Continents	Hydrocarbures récupérables dans les conditions économiques actuelles (en 10 ⁹ barils)	Estimation des réserves totales en 10 ⁹ barils d'équivalent pétrole pour des schistes de ri- chesse décroissante en hydrocarbures.		
		100 à 400 l/t.	40 à 100 l/t.	20 à 40 l/t.
Afrique	10	4 000	80 000	450 000
Asie	20	5 500	110 000	590 000
Océanie	faible	1 000	20 000	100 000
Europe	30	1 400	26 000	140 000
Amérique du Nord	80	3 000	50 000	260 000
Amérique latine	50	2 000	40 000	210 000
	190	17 000	325 000	1 750 000

Les schistes bitumineux contiennent des hydrocarbures solides dont la composition chimique diffère beaucoup de celle du pétrole brut. Ils renferment en outre des impuretés diverses inorganiques et des dérivés de l'azote. Ceci soulève des problèmes spécifiques de raffinage qui interdisent leur traitement dans les installations pétrolières conventionnelles.

Aux Etats Unis, ces dépôts s'étendent sur les territoires du Colorado, de l'Utah et du Wyoming. Ils se rapportent à la formation géologique dite de la « Green river ».

DUNCAN et SWANSON (1965) ont effectué une estimation mondiale des réserves en schistes bitumineux.

En 1965, les réserves prouvées contenues dans les schistes bitumineux s'élevaient pour l'ensemble du monde à 720×10^9 barils pour des roches titrant de 100 à 400 l. d'équivalent pétrole par tonne, $2\,400 \times 10^9$ barils pour celles renfermant de 40 à 100 l/t. et $2\,200 \times 10^9$ pour celles de 20 à 40 l/t.

Il ne faut donc pas s'abuser sur les possibilités de recours aux schistes bitumineux. Sur un total de 2×10^{16} barils de réserves estimées seulement 190×10^9 barils, dont 80 dans les formations de la Green river peuvent donner lieu à une utilisation. Plutôt que d'exploiter des roches titrant 100 kg d'équivalent charbon par tonne, autant mettre en valeur des gisements de houille dix fois plus énergétiques à poids égal. En effet, les conditions d'extraction des schistes sont équivalentes à celles de la

houille (mines ou carrières à ciel ouvert), mais le rendement énergétiques de telles activités est *a fortiori* supérieur pour le charbon...

En conclusion, le contenu en hydrocarbures fossiles des schistes bitumineux apparaît plus comme une source de certaines matières premières pour la chimie organique qu'un substitut valable au pétrole dans la production d'énergie (*in* HUBBERT, 1969). Présenter les sables et schistes bitumineux comme une solution de remplacement en cas de pénurie pétrolière, ainsi que l'ont fait certains hommes politiques et la grande presse, relève de la haute fantaisie. Tout au plus, l'exploitation de certains gisements permettrait-elle de résoudre provisoirement les difficultés d'approvisionnement des Nord Américains.

Ressources en gaz naturel.

Les recherches faites sur les ressources en gaz naturel montrent que ces dernières sont du même ordre de grandeur que celles en pétrole, avec toutefois quelques différences dans leur répartition géographique (cf. tableau II).

Ressources en charbons.

Les données géologiques disponibles font conclure que le charbon représente le seul substitut capable de pallier assez vite à la crise des ressources pétrolières.

Nous venons de voir qu'il n'existe aucun hydrocarbure fluide en quantités suffisantes pour combler le déficit progressif en produits pétroliers. En outre, brûler du pétrole constitue une hérésie. Il est scandaleux de dégrader des molécules organiques dont l'énergie libre est très élevée pour produire de l'énergie... afin de fabriquer de nouvelles molécules, souvent de la même famille chimique, dont la synthèse est très endergonique !

Le charbon peut se substituer à la totalité des usages énergétiques du pétrole. Faut-il rappeler que l'Allemagne nazie a fait 3 ans de guerre grâce, si l'on peut dire, à l'essence synthétique fabriquée à partir du charbon... le coût de gazéification de la houille n'était alors que de trois fois supérieur à celui de l'essence tirée du pétrole et de nets progrès techniques ont été depuis lors réalisés.

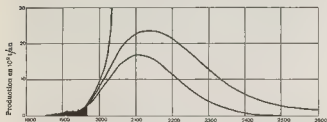


FIG. 7. — Cycle de production du charbon mondial. La courbe de gauche, de nature exponentielle, montre la tendance à l'accroissement sur la base du taux annuel de 3,5 % par an. Les deux autres courbes figurent l'aspect du cycle de production pour les deux valeurs du Q_{∞} proposées par AVERITT, en supposant seulement trois doublings des valeurs actuelles. On voit que le maximum d'extraction serait atteint entre 2100 et 2150.

AVERITT (1969) de l'U.S. Geological Survey a donné une estimation de la quantité totale de charbon économiquement exploitable présente dans la lithosphère. Il l'évalue au 50 % de la masse totale contenue dans des couches d'épaisseur égale ou supérieure à 30 cm (fig. 7). Il a donné deux ordres de grandeurs des réserves $4,3 \times 10^{12}$ tonnes de réserves contenues dans des bassins en exploitation et $7,6 \times 10^{12}$ tonnes de réserves prouvées (à comparer avec le $Q_{\infty} = 300 \times 10^9$ tonnes de pétrole...).

Enfin, il faut tenir présent à l'esprit combien la notion de charbon économiquement exploitable est

contingente. Celle-ci dépend directement des cours du pétrole, lesquels grimpent aujourd'hui de façon ininterrompue.

La première phase d'exploitation du charbon (1860-1905) s'est traduite par une croissance du taux d'extraction, sur la base moyenne de 3,6 % par an (fig. 7).

En prenant $Q_{\infty} = 7\,600 \times 10^9$ tonnes, et en ne supposant que 3 doublings de la production actuelle, HUBBERT a calculé que le pic d'extraction de ce combustible sera atteint entre 2 100 et 2 150, avec une ère utile s'étalant entre 2 040 et 2 390.

La masse colossale des réserves de houilles implique un recours inéluctable à ce type de combustible, même si cette irremplaçable source d'énergie a été considérée en un temps comme démodée et non « rentable » par de nombreux économistes et technocrates d'Europe occidentale, ce qui a conduit au démantèlement anticipé des houillères... Il faut espérer que le fait de payer le pétrole à plus de 20 dollars le baril, ce qui ne saurait tarder, les aidera à mieux comprendre la différence fondamentale qui sépare l'intérêt à long terme des « intérêts » immédiats.

En conclusion, deux faits essentiels se dégagent quelle que soit la façon dont on examine les données numériques actuelles sur les ressources en carbone fossile :

- notre génération et sans doute la suivante ne verront pas la fin des combustibles fossiles eu égard à l'énormité des ressources en charbon.

- une grave pénurie en ressources énergétiques conventionnelles apparaîtra d'ici un siècle si notre civilisation persiste à utiliser les combustibles fossiles comme principale source d'énergie dans un contexte de croissance quantitative ininterrompue...

On peut calculer que le maintien indéfini du taux de croissance de 3,5 % par an de l'extraction du charbon — taux relativement modeste — conduira à son épuisement en deux siècles. Supposons que le charbon devienne la quasi unique source d'énergie. La croissance mondiale moyenne d'utilisation des combustibles fossiles a été légèrement supérieure à 6 % par an au cours des dernières décennies, soit un

temps de doublement d'environ dix ans. Cela signifie une augmentation de consommation de 1 000 fois en un siècle (dix doublements). Supposons que l'on ait extrait déjà 0,1 % des réserves totales de charbon présentes dans la lithosphère (6). Il est assez évident que la totalité des réserves existantes de charbon seraient alors épuisées en un siècle.

Dans le même ordre d'idée, admettons que l'on se soit grossièrement trompé dans l'estimation de l'ensemble des ressources en combustibles fossiles. Supposons que l'on n'ait en réalité consommé jusqu'à présent que 0,01 % de ces dernières (sous estimation du Q_0 d'un facteur 10 !). Il ne faudrait de toutes façons, sur la base du fameux doublement décennal de la consommation, que 30 ans de plus, soit 130 ans pour arriver à leur épuisement.

Outre l'inanité de la notion de croissance quantitative indéfinie, ces diverses considérations montrent l'indispensable nécessité pour l'espèce humaine de trouver une ou des solutions de rechange aux combustibles fossiles. Celles-ci s'imposent même dans le cas d'un fort ralentissement de la croissance énergétique, ne serait-ce que pour répondre à la demande des pays du tiers monde où l'acquisition d'un niveau de vie décent nécessite la disponibilité d'une plus grande quantité d'énergie *per capita*.

II. — L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET LES RESSOURCES EN MATIÈRES FISSILES

Deux processus fondamentaux permettent la mise en œuvre de l'énergie nucléaire :

— la fission au cours de laquelle un noyau d'un élément : Uranium ²³⁵, Uranium ²³⁸ ou Plutonium ²³⁹, se désintègre en noyaux d'éléments de plus faible nombre atomique.

— la fusion, dans laquelle deux noyaux d'atomes légers se combinent pour donner un élément plus lourd.

Dans un cas comme dans l'autre, ces réactions s'effectuent avec une production d'énergie considérable tandis que la masse finale des produits de réaction est inférieure à la quantité de matière initiale. Cette perte de masse (Δm) est liée à la quantité d'énergie libérée (ΔE) par la célèbre relation d'Einstein :

$$\Delta E = \Delta m C^2 \quad (7)$$

où C désigne la vitesse de la lumière.

Ainsi, chaque atome d'Uranium ²³⁵ qui se désintègre libère 200 Mev soit une quantité d'énergie de $3,2 \times 10^{-11}$ joules. Comme un gramme d'Uranium renferme $2,56 \times 10^{21}$ atomes, on calcule aisément que cette masse de matière fissile est l'équivalent énergétique de la combustion de 2,7 tonnes de charbon. Il existe dans l'Uranium naturel 0,71 % d'Uranium ²³⁵ (un atome pour 140 atomes d'Uranium ²³⁸). Un gramme d'Uranium naturel a donc comme équivalent énergétique 19 kg de charbon.

La plupart des réacteurs nucléaires actuels destinés à la production d'électricité sont dits des « Burners » car ils utilisent uniquement la désintégration contrôlée de l'U²³⁵. Certains d'entre eux sont cependant des « Convertisseurs ». C'est le cas des réacteurs plutonigènes (p.e. les célèbres « filières » Uranium naturel - Graphite - Gaz) car une fraction de l'énergie produite permet la formation d'une autre matière fissile, le Plutonium²³⁹. Dans ce cas, si Q est la quantité de matière fissile restant dans le réacteur après un cycle et Q_0 la quantité initiale $Q/Q_0 < 1$ dans le cas d'un convertisseur et $Q/Q_0 \rightarrow 0$ dans celui d'un « Burner ».

Il existe aujourd'hui un troisième type de réacteur encore au stade expérimental, celui des « breeder » ou surrégénérateurs, dans lesquels $Q/Q_0 > 1$. Ici, on obtient après un cycle de réaction une quantité de matière fissile supérieure à celle initialement placée dans le réacteur (fig. 8).

Ces appareils utilisent une matière dite fertile, l'Uranium²³⁸ ou le Thorium²³², qui peuvent se transformer respectivement par capture d'un neutron après émission de radioactivité β en Plutonium²³⁹ et Uranium²³³.

(6) Nous prenons en réalité ce chiffre pour la commodité du raisonnement. Actuellement une quarantaine de milliards de tonnes ont été extraites soit environ 0,5 % du $Q_0 = (7 600 \times 10^6 \text{ t})$

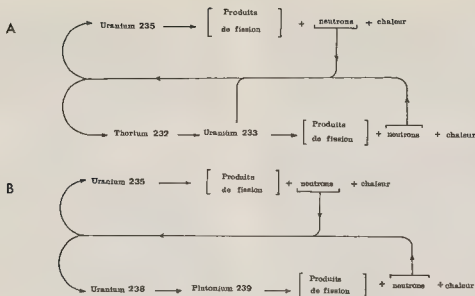


FIG. 8. — Schéma de fonctionnement de surrégénérateurs. En A, cas du cycle au Thorium, en B, cas du cycle à l'Uranium 238. Noter que l'Uranium 235 de la boucle supérieure sert seulement à réaliser le premier cycle de surrégénération. Il est ensuite remplacé par la matière fertile produite par le « breeder » : Plutonium ou Uranium 233 selon le cas.

Ces deux radionucléides, fissiles, fournissent une quantité d'énergie égale par unité de masse à celle produite par la désintégration de l'Uranium²³⁵.

De telles réactions permettent d'entrevoir la possibilité d'utiliser la quantité totale d'Uranium naturel et de Thorium géologiquement exploitable. A partir du moment où un cycle de surrégénération aura été bouclé, on pourrait se dispenser d'Uranium²³⁵. Le cœur actif du réacteur peut alors contenir du Plutonium ou de l'Uranium²³³, lequel est particulièrement intéressant pour la surrégénération car son bilan neutronique est très favorable.

Le recours aux surrégénérateurs multiplierait par 140 la quantité de matière fissile disponible par tonne d'uranium naturel. En outre, il permettrait d'utiliser le Thorium comme « combustible » nucléaire dont les réserves à coût égal d'exploitation seraient dix fois supérieures à celles d'Uranium.

De nos jours, seuls des « Burners » à eau légère - Uranium enrichi (type PWR ou BWR) donnent lieu à une production significative d'électricité nucléaire,

depuis le quasi abandon des filières françaises et britanniques à l'Uranium naturel - graphite - CO₂.

Cependant, une autre filière, intermédiaire entre les « converters » et les « breeders », dite des réacteurs à haute température (HTR) est en cours de développement et semble promise à un certain succès (*in* PERICART, 1973). Celle-ci utilise des éléments combustibles constitués par des particules de petit diamètre de matière fissile, enrobées par un graphite pyrolythique. De tels éléments permettent de travailler à températures beaucoup plus élevées que les réacteurs classiques. Outre l'accroissement sensible du rendement thermodynamique qui en résulte, ces réacteurs HTR pourraient provoquer une véritable révolution dans le domaine des carburants. Des travaux actuellement en cours se proposent d'utiliser la chaleur engendrée à des températures qui atteindraient 1 000 °C pour fabriquer de l'hydrogène par pyrolyse catalytique de l'eau (MAUGH, 1972). L'aboutissement de ces recherches permettrait d'obtenir des quantités considérables de carburant. La seule limite serait liée

à la masse de matières fissiles disponibles. Parmi les nombreux avantages de l'hydrogène, qui apparaît de plus en plus comme le combustible de l'avenir, rappelons qu'il figure de loin comme le plus propre des carburants. Sa combustion dans l'air ne dégage que de l'eau avec production de très faibles quantités d'oxydes d'azote sans rapport avec celles engendrées par l'usage des hydrocarbures. Enfin, les réacteurs HTR dits « feed-breed » fonctionnent avec un taux de conversion Q/Q_0 proche de 1 voire supérieur à l'unité. Dans ces réacteurs, on introduit un mélange de particules constituées par de la matière fissile (feed) avec des particules de matière fertile - Thorium²³² dites « breed ». La matière fissile (U²³³) formée dans les éléments « breed » et non « brûlée » sur place en cours d'irradiation peut être séparée lors du retraitement du combustible irradié afin de constituer une partie de la charge « feed » suivante, ou de la totalité s'ils fonctionnent en surrégénérateur. L'économie de matière fissile qui en résulte est importante.

En effet, il apparaît, dès à présent que les ressources en minerai d'Uranium économiquement exportables sont des plus limitées. FAULKNER (1968) évalue à 840 000 t de U₃O₈ les réserves prouvées d'oxyde d'Uranium récupérables par les pays occidentaux d'un prix inférieur à 85 F le kg (?). A cette quantité, il faudrait ajouter 750 000 tonnes supplémentaires dont l'existence est quasi certaine. Au total, seulement 1 690 000 t d'Oxyde d'Uranium sont actuellement accessibles à bas prix.

Compte tenu du taux de croissance prévu de l'énergie nucléaire, ces réserves ne permettent guère de faire face aux besoins que pendant une quinzaine d'années ! Dès 1970, les besoins cumulés Europe occidentale - Amérique du Nord, nécessaires au développement envisagé de l'électronucléaire pour les prochaines décennies, impliquaient la découverte et la mise en exploitation d'un million de tonnes supplémentaires d'Oxyde d'Uranium d'ici 1985 !

HUBBERT conclut ceci : « bien que de nouvelles découvertes d'Uranium surviendront sans aucun doute à l'avenir, toutes les données géologiques actuelles

montrent que si l'on ne réalise pas rapidement la transition vers les réacteurs surrégénérateurs, une sévère pénurie de minerais bon marché de matières fissiles surviendra d'ici la fin du siècle... ».

Il apparaît donc que la voie actuelle des réacteurs de type « Burner » voire « convertir » est une fausse alternative à la pénurie en combustibles fossiles. Si les pays « développés » continuent à épuiser le stock initial d'Uranium²³⁵ dans des réacteurs de ce type avant que le passage aux « breeder » n'ait été accompli, il deviendrait quasiment impossible de faire fonctionner ces surrégénérateurs. Dans cette hypothèse, l'ère de l'Uranium serait encore plus fugitive que celle du pétrole. Ce nouveau gaspillage de ressources non renouvelables, représenterait aussi la plus grande catastrophe qui puisse s'abattre sur la société industrielle dans le domaine de l'énergie.

Mais si le passage aux « breeders » s'effectue, la disponibilité d'une source énergétique aussi importante, permettra alors de se tourner vers des minerais moins concentrés dont l'exploitation n'est pas envisageable de nos jours par suite de la grande quantité d'énergie requise pour en extraire la matière fissile.

L'usage des surrégénérateurs permettrait la mise en valeur de gisements uranifères et thorifères de faible teneur qui recèlent des quantités fantastiques d'énergie.

On a pu montrer que les schistes uranifères de Chattanooga, dans les Appalaches, qui contiennent 60 g d'Uranium naturel par tonne, recèlent sur une surface de 750 km² et 5 mètres d'épaisseur, l'équivalent des réserves totales en charbon des Etats-Unis. Les granites thorifères de Conway, dans le New Hampshire, pour une même teneur en matières fertiles, renferment sur une même surface et une profondeur de 100 mètres, 20 fois l'équivalent en charbon des réserves totales américaines de combustibles fossiles !

La technologie des surrégénérateurs nous montre donc que dans une perspective à long terme, disons séculaire, la crise énergétique ne peut provenir d'un problème de ressources. Il n'en est pas de même dans le moyen terme car nul ne peut prévoir quand les surrégénérateurs pourront donner lieu à une

(7) La charge d'un réacteur à eau légère, type PWR de 1 000 MW nécessite 92 t d'Uranium enrichi à 3 % !

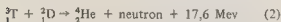
application à vaste échelle industrielle... cela est *a fortiori* valable pour la fusion dont nous allons maintenant dire quelques mots.

L'énergie de fusion.

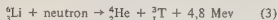
L'hydrogène ${}_1\text{H}$ possède deux isotopes naturels, le Deutérium ${}_1\text{D}$ et le Tritium ${}_1\text{T}$.

Ces isotopes lourds peuvent fusionner de diverses façons pour donner de l'Hélium avec une libération importante d'énergie.

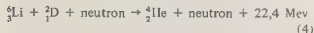
Deux types de réactions intéressent la fusion contrôlée :



En pratique, le Tritium est produit par bombardement neutronique à partir d'un métal alcalino-terreux, le Lithium selon la réaction



combinée à la réaction (2) on obtient :



De nos jours, la fusion contrôlée est encore du domaine de la recherche fondamentale. De nombreux problèmes, non seulement technologiques, mais théoriques sont encore à résoudre. On n'a pu encore la réaliser expérimentalement car on achoppe sur la question des températures d'activation du plasma et celle de son confinement. Cela permet de mesurer le temps qui risque encore de s'écouler avant qu'elle ne puisse devenir applicable dans le domaine industriel. Rappelons seulement les quelques trente années qui ont été nécessaires entre le moment où l'on a imaginé les plans de la première pile atomique et le jour où a divergé la première centrale nucléaire d'une puissance installée comparable aux centrales thermiques classiques fonctionnant aux combustibles fossiles...

Ces réserves faites, les potentialités ouvertes par la fusion sont théoriquement très considérables.

Jusqu'à présent tous les travaux se fondent sur la réaction Tritium + Deuterium dont le seuil thermique d'activation est plus bas que celui de la réaction (1). Cependant l'utilisation de cette nouvelle forme d'énergie se heurtera aussi à des problèmes de ressources.

En effet, le facteur limitant réside en la rareté relative du Lithium⁶, l'élément naturel indispensable à l'obtention du Tritium.

Le Lithium⁶ existe au taux de 7,4 % dans le Lithium naturel dont le Li^7 est le principal isotope. Cet élément est rare dans la lithosphère. La principale forme cristalline du lithium naturel est le spodumène, un minéral constitutif des pegmatites. Il existe aussi des teneurs significatives de Lithium dans les efflorescences salines des lacs continentaux en voie d'assèchement : Grand Lac salé de l'Utah, chotts maghrébins par exemple...

Actuellement, les réserves connues de Lithium naturel s'élèvent à 9×10^6 tonnes, ce qui donne 67 500 tonnes de Lithium⁶. Comme l'énergie de fusion produite par un atome de Lithium⁶ est de $3,19 \times 10^{-13}$ joules, cela correspond à 215×10^{22} joules d'énergie totale récupérable soit l'équivalent de celle contenue dans l'ensemble des réserves estimées de combustibles fossiles.

On ne peut donc affirmer que l'énergie mise à notre disposition par la fusion serait illimitée, aussi longtemps qu'elle sera fondée sur la réaction Deuterium + Tritium.

En revanche, la réaction Deuterium + Deuterium (2) bouleverserait totalement ces perspectives : chaque m^3 d'eau contient 34,4 g de Deuterium !

III. — L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN ÉNERGIE NATURELLE

La civilisation industrielle s'est jusqu'à présent développée de façon purement artificielle et cette remarque s'impose particulièrement à l'évidence dans le secteur énergétique.

L'utilisation de modèles écologiques devrait conduire à une révision radicale des méthodes par lesquelles les sociétés technologiques répondent à leurs besoins en énergie (LABEYRIE, 1972).

Beaucoup d'experts technologiques semblent ignorer que la biosphère est un système ouvert quant à l'énergie. Chaque écosystème fonctionne certes en cycle fermé mais le recyclage des éléments, donc la pérennité de la biosphère tout entière est assurée par un apport d'énergie extérieure au système en l'occurrence le flux solaire.

L'usage de l'énergie solaire permettrait de surmonter l'obstacle constitué par l'équilibre thermique de la terre. En effet, le flux solaire possède l'unique propriété de se transformer vite et intégralement en chaleur à la température ambiante de sorte que tout emprunt fait par l'homme au passage serait sans influence écologique globale (pas de pollution thermique).

En outre, le flux solaire représente de fort loin la source d'énergie naturelle prépondérante, comme en atteste le tableau ci-dessous :

Energie solaire	$178\,000 \times 10^{12}$ watt
Energie géothermique	32×10^{12} watt
Energie marémotrice	3×10^{12} watt
(= gravitationnelle)	

L'examen de ces données appelle les commentaires suivants :

— L'énergie marémotrice n'a pratiquement pas été exploitée jusqu'alors. La seule réalisation significative à l'heure actuelle est le fameux barrage de la Rance (10^6 kWh). Toutefois, il faut convenir qu'elle n'offre pas beaucoup de possibilités d'autant que le nombre de sites équipables est assez limité.

— L'énergie géothermique présente des potentialités dix fois supérieures à celles des marées (32×10^{12} W contre 3×10^{12} W). En 1970, la puissance électrique installée pour l'ensemble du monde excédait 1 000 MW, dont 390 en Italie. La principale unité jamais construite est celle de Lardarello, en Toscane (370 MW). Cependant, à l'exception des régions volcaniques où cette énergie peut alimenter des turbines à vapeur car elle donne lieu à une surchauffe de l'eau (fumerolles et geysers en sont en

quelque sorte la traduction géologique), son plus important usage futur paraît être le chauffage des habitations.

L'énergie solaire se présente en conclusion comme la principale source d'énergie naturelle ($178\,000 \times 10^{12}$ watt). Aussi faut-il déplorer qu'elle n'ait jusqu'à présent donné lieu qu'à de dérisoires efforts de recherche et de développement.

Deux types d'utilisation méritent d'être explorés : celui du flux solaire direct et celui de l'énergie éolienne.

En sus de ses avantages thermodynamiques, le flux solaire possède la particularité d'être de durée infinie à l'échelle de notre espèce. Cependant la technologie devra surmonter diverses difficultés pour que son usage atteigne une dimension industrielle. Il st discontinu dans le temps et dans l'espace. Ce sont les régions méditerranéennes et désertiques subtropicales qui possèdent le plus important flux solaire moyen. Autre inconvénient important, il constitue une source d'énergie de faible densité, environ $0,8 \text{ kW (th)}/\text{m}^2$ en moyenne.

Trois propositions techniques qui permettraient sa domestication retiennent aujourd'hui l'attention :

1°) la conversion thermique directe — le four solaire de Font-Romeu - Odeillo en constitue un prototype. HILDEBRANT et GREGORY, de l'Université de Houston proposent de réfléchir les radiations solaires recueillies sur une aire de $2,6 \text{ km}^2$ dans un four solaire situé au sommet d'une tour haute de 500 m. La chaleur collectée à $2\,000 \text{ K}$ serait convertie en électricité par une magnéto-hydrodynamique. Une partie de cette énergie servirait à produire de l'hydrogène et de l'oxygène pour reconversion nocturne en électricité avec des piles à combustibles. Un rendement général de 20 % serait attendu d'un tel dispositif.

Un projet moins futuriste a été proposé par deux astronomes A. et M. MEINEL (Université de Tucson). Ces chercheurs suggèrent d'utiliser l'effet de serre dans des collecteurs de chaleur à haut coefficient d'absorption, à l'intérieur desquels circulerait un mélange de Na-K fondu porté à 540°C par le flux solaire ainsi capté. La chaleur recueillie chaufferait



un mélange CNa-ClK contenu dans une chambre électrique classique, avec un rendement de 30 %. Il isolée thermiquement et actionnerait une centrale suffirait de 8 km² de désert de l'Arizona pour produire 1 000 MW (in HAMMOND, 1971).

2°) La conversion thermomécanique représente une forme moderne du génial procédé de Georges Claude. La pompe solaire de Masson et Girardier constitue une première réalisation technique fondée sur ce principe. De l'eau circulant dans les capteurs solaires sert de fluide calorigène. La chaleur qu'elle accumule est restituée à un gaz liquide — du butane par exemple — au niveau d'un échangeur. L'évaporation du gaz chauffé produit une pression suffisante pour actionner une pompe. Ensuite, le gaz est refroidi dans un condenseur et reliquéfié par l'eau froide pompée dans le puits. La réinjection du gaz dans l'évaporateur initie un nouveau cycle.

3°) La conversion photoélectrique a aussi été envisagée, avec une de ses variantes, la conversion photovoltaïque. Elles donnent déjà lieu à des applications limitées (batteries solaires des satellites artificiels et autres stations spatiales). Les piles photovoltaïques actuelles, avec un rendement de 10 % pourraient débiter 70 MW/km² ! L'extension de tels dispositifs à 400 km² de départements méridionaux français permettrait d'obtenir une puissance installée correspondant à celle de la France en 1973 (27 000 MW) c'est-à-dire de répondre à la totalité de nos besoins électriques actuels !

L'énergie éolienne, encore plus irrégulière que le flux solaire, pourrait cependant donner lieu à de nombreuses applications. L'homme s'en est servi systématiquement aux époques protoindustrielles (moulins, navires).

SUMMERS (1971) donne un schéma d'utilisation de cette énergie qui permettrait une production électrique continue. Ici encore, le recours aux piles à combustibles est envisagé pour pallier aux irrégularités du vent (fig. 9).

Supposons que l'énergie moyenne annuelle soit de 200 watt/m² de surface verticale en un lieu donné. Si la conversion s'effectue avec un rendement de 60 %, la production d'un mégawatt nécessitera une

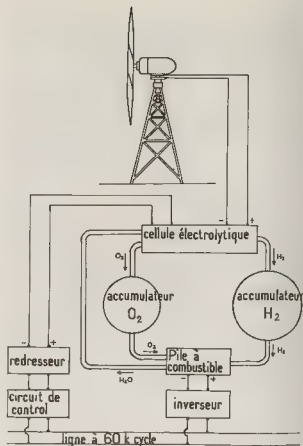


FIG. 9. — Projet d'utilisation de l'énergie éolienne. La cellule à électrolyse fabrique à l'aide d'une partie du courant produit de l'hydrogène et de l'oxygène, ce qui permet de pallier à l'irrégularité du vent (période de temps calme) grâce à une pile à combustible. (D'après SUMMERS, 1971).

éolienne de 103 mètres de diamètre actionnant un générateur électrique. Un millier de telles éoliennes serait donc nécessaires pour produire 1 000 MW. L'énorme emprise au sol de tels équipements semble rendre utopique leur possibilité d'emploi, sauf dans les pays qui disposent de vastes espaces désertiques. Toutefois si le recours à l'énergie éolienne ne peut représenter un substitut valable aux unités électrogènes conventionnelles, dont la puissance moyenne se situe entre 500 et 1 000 MW, elle offre cependant une alternative à l'usage de génératrices de faible puissance actionnées par des moteurs diesels. L'utilisation de l'énergie cinétique des vents ne saurait être négligée dans la production d'électricité pour alimen-

ter des entreprises ou de petites agglomérations isolées. Aussi faut-il déplorer l'abandon des éoliennes en de nombreuses régions rurales où leur ont été substituées des pompes mues par des moteurs à essence car le vent constitue une des rares sources primaires d'énergie inépuisable et gratuite.

De même, les grands progrès effectués par la métallurgie et dans la synthèse des fibres synthétiques permettraient de nos jours la réalisation de véritables voiliers de transport dont les performances seraient bien supérieures aux fameux « clippers » du siècle dernier. De tels navires ne seraient paraît-il « rentables » car ils exigent une main-d'œuvre plus nombreuse que les bâtiments à moteur.

IV. — LIMITES ÉCOLOGIQUES ET CRISE DE L'ÉNERGIE

Même lorsque l'on admet que la technique permettrait à l'homme de disposer de ressources énergétiques illimitées, il faut convenir que d'autres limites non moins contraignantes mettraient un terme définitif à la croissance de la consommation d'énergie.

Ces limites, de nature écologique, ressortent de trois catégories distinctes :

- les pollutions;
- les disponibilités en espaces;
- les contraintes thermodynamiques inhérentes au second principe de Carnot.

Nous pensons que ces limites écologiques fixeront l'ultime terme de cette croissance longtemps avant que notre civilisation ne bute sur un problème absolu de ressources.

Les pollutions qui accompagnent inéluctablement toute production artificielle d'énergie devraient donner à réfléchir aux détracteurs du zéligisme énergétique. L'exemple des pollutions chimiques montre que la production de combustibles fossiles ne pourra présenter dans le futur qu'un nombre limité de doubléments. Au-delà, les pollutions engendrées deviendraient inadmissibles. Diminuer d'un facteur dix le niveau de pollution atmosphérique provoqué par les combustibles suppose des progrès techniques

et un effort d'investissement qu'aucun pays industrialisé ne semble disposé à accomplir. Cependant, un tel bond en avant dans la lutte contre les nuisances serait entièrement neutralisé par 3,3 dédoublements dans la consommation de combustibles fossiles. Il ne conduirait qu'au maintien d'un niveau de pollution déjà intolérable en bien des cités industrialisées à l'heure actuelle.

La pollution radioactive constitue aussi un sérieux obstacle à un développement inconsidéré de l'énergie nucléaire. Les Etats-Unis, par exemple devront gérer chaque année un stock de déchets radioactifs équivalents à ceux produits par huit millions de bombes type Hiroshima s'ils voulaient répondre à tous leurs besoins électriques prévus en l'an 2000 à l'aide de réacteurs nucléaires !

Aussi longtemps que ce problème des déchets n'aura pas reçu une solution technique satisfaisante, nous devons considérer qu'une hypothèque pèsera sur tout le développement rapide de l'atome pacifique.

Cette question du stockage des résidus radioactifs ne saurait être éludée à l'heure actuelle, même si les quantités produites sont encore faibles. Les écologistes doivent par ailleurs s'ériger contre la solution de facilité qui consiste à rejeter les effluents dilués dans les eaux continentales ou les mers à des concentrations réputées admissibles. Celles-ci ne tiennent pas assez compte des possibilités d'accumulation dans les réseaux trophiques.

Nous jugerons personnellement hasardeuses et très contestables dans les faits certaines affirmations de responsables de l'électronucléaire qui minimisent le problème de ce rejet d'effluent dans les eaux. Ainsi, par exemple, PERICART (1974) considère que « l'on ne peut énoncer une règle générale à partir de quelques rares cas défavorables que les études des écologistes permettent de bien connaître. Il peut y avoir concentration le long de la chaîne de Cesium ou de Zinc... au contraire, pour les produits de fission à période longue, les organismes aquatiques supérieurs constituent plutôt un filtre éliminatoire... » ! Nous ne pouvons partager une proposition aussi contingente.

On ne peut certes reprocher à LEBRETON (1973) d'avoir trop systématisé le caractère amplificateur des

pyramides trophiques. Il n'empêche que réclamer, comme il le fait des facteurs de sécurité 10^4 fois supérieurs aux actuels, représente l'attitude la plus prudente et préserve l'avenir.

Nous rappellerons aux responsables de l'industrie nucléaire que les techniques de « zero release » sont au point. Même si elles obéraient de 10 % voire de 20 % le prix du kW, cela serait un moindre mal face aux risques d'une pollution des eaux difficile à contrôler. L'expérience de la contamination par les pesticides nous donne à réfléchir sur la façon dont les normes édictées par des experts peuvent être appliquées dans les faits. Bien que les cas de dépassements réellement observés soient assez rares, ils ne sauraient être admis pour la pollution radioactive.

On a estimé à 2 % du coût global de l'industrie nucléaire américaine la récupération de *tous* les déchets produits par celle-ci en 1968 (HUBERT, 1969). Nul ne saurait mettre en balance le coût marginal avec les risques inhérents à la concentration des radionucléides dans les chaînes trophiques, ou à l'accumulation de certains d'entr'eux (K^{85} p.e.) dans l'atmosphère.

La gestion des déchets devrait se fonder sur les principes absolus suivants :

— tout le matériel radioactif est biologiquement néfaste. Il devrait être isolé de l'environnement pendant une durée supérieure à 600 ans pour les isotopes de durée de vie moyenne (Strontium 90 , Cesium 137 , Plutonium, etc.).

— le taux de production des déchets est proportionnel à celui de la consommation de matières fissiles laquelle double de nos jours tous les deux ans !

— Aucune pratique d'élimination des déchets de faible niveau d'activité ne devrait donc être entreprise sans être certain qu'elle demeurera sans risque quand le taux de rejet aura crû de plusieurs ordres de magnitude.

— *Aucun compromis entre la sécurité et la rentabilité économique ne saurait être toléré en ce domaine.*

— d'autres contraintes liées à l'espace disponible s'opposent aussi à une croissance indéfinie de la production d'énergie. La sacro-sainte règle du doublement décennal conduirait à multiplier par 1 000 la

capacité nationale de l'E.D.F. en un siècle. Comme la puissance électrique installée en France était en 1973 de 27 000 Mégawatts, cela signifie qu'en 2073 notre pays devrait par exemple disposer de 13 500 centrales de 2 000 Mégawatts chacune ! Le refroidissement de ce colossal dispositif transformerait instantanément en vapeur toute l'eau des fleuves français. Il sera donc nécessaire de placer ces unités à proximité de la mer... autant dire que les 3 000 km de nos côtes n'y suffiront pas. Même groupées en « parcs », comme les dénomment de façon euphémique certains technocrates, ces centrales constitueront une version futuriste et pacifique des célèbres murs de l'Atlantique et de la Méditerranée.

Par ailleurs, qu'à-t-on prévu pour les sites d'implantation des centrales électronucléaires lorsque les réacteurs seront usagés ? Rappelons que celles-ci sont conçues pour être amorties en trente ans...

Le développement exagéré de l'énergie solaire se heurterait aussi à des limites d'espace. En admettant que la conversion photoélectrique soit possible, les 2/3 du territoire U.S. devraient être couverts de capteurs solaires en 2070 si la croissance de la consommation électrique se maintenait sur les bases actuelles ! Ces exemples démontrent par l'absurde l'inanité de la notion de croissance énergétique indéfinie.

— les contraintes thermodynamiques imposent un terme absolu à la croissance de la production d'énergie conventionnelle ou nucléaire. Le 2^e principe de Carnot stipule que toute machine thermique ne peut produire un travail qu'avec une perte de chaleur dans l'ambiance ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ où ΔG représente l'énergie utilisable ΔH la chaleur échangée entre le système et le milieu intérieur, T la température absolue et ΔS la variation d'entropie du système).

Les basses calories perdues, non converties en énergie utilisable sont rejetées dans les eaux et l'atmosphère. Une croissance ininterrompue de la production d'énergie conduirait à une pollution thermique inadmissible des eaux fluviales puis littorales.

Ce phénomène « d'entropisation » accélérée de la biosphère est encore plus inquiétant à long terme. La libération artificielle d'énergie potentielle non con-

vertie en travail modifiera dans un second temps le bilan énergétique terrestre. L'équilibre thermique planétaire serait alors compromis et il en résulterait des transformations climatiques globales.

Certes, l'apport artificiel de chaleur dû à l'usage de combustibles fossiles demeure encore faible de nos jours : environ 3×10^4 fois le flux solaire. Il s'élève toutefois à 5 % de ce dernier sur 10^6 ha dans le bassin de Los Angeles (LEES, 1970).

Or, il existe un seuil estimé précisément à 5 % du flux solaire au-delà duquel adviendraient d'imprévisibles altérations climatiques (selon CHAPMAN in LABEYRIE, 1972).

Dans le cas des Etats-Unis, la quantité de chaleur dégradée, rejetée dans le milieu s'élevait à 0,017 watt/m² en 1970, si ces basses calories étaient uniformément réparties sur le territoire national. Le maintien de la croissance énergétique de ce pays sur la base du doublement décennal conduirait dans un siècle à produire 17 watts/m², soit à peu près l'équivalent du flux solaire moyen annuel (19 watts/m²) (SUMMERS, 1971). Le seuil fixé par CHAPMAN serait donc largement dépassé dans cette hypothèse et provoquerait sans nul doute une catastrophe climatique.

V. — ECONOMIE DE L'ÉNERGIE ET CROISSANCE

Quelques réflexions socio-économiques s'imposent donc sur l'emploi de l'énergie dans la civilisation contemporaine.

Tout d'abord, on ne peut manquer d'associer la plupart des difficultés actuelles et prévisibles dans le domaine de l'approvisionnement en énergie à la croissance incessante des « besoins » ou plutôt à la boulimie énergétique des pays occidentaux (8).

(8) Nous en voulons pour preuve le bilan de la « rétention pétrolière » (*Le Monde*, 18 mars 1974, p. 26). Celui-ci montre que l'Europe a reçu les mêmes quantités de pétrole que pendant la période correspondante de 1972. Les difficultés ont simplement résulté du léger déficit entre les livraisons et la demande dû à la croissance, soit 9 % entre les derniers trimestres de 1972 et 1973. Cela a suffi pour provoquer une tension certaine sur le plan socio-économique, en particulier une augmentation du chômage.

Les difficultés actuelles tiennent certes non pas à un manque absolu de ressources mais surtout à une insuffisance des efforts de recherche et de développement d'autres sources d'énergie.

Il n'empêche que les divers arguments évoqués précédemment plaident en faveur d'un plafonnement de la consommation d'énergie.

En réalité, il s'imposerait de mettre en place dès à présent, de nouvelles structures économiques qui permettraient de planifier la transition vers une nouvelle forme de civilisation dans laquelle la quantité d'énergie consommée *per capita* demeurerait constante ou même décroîtrait en valeur absolue.

Au pétrole devraient être substituées diverses formes d'énergie encore inexploitées dont l'énergie solaire. En outre s'impose une meilleure utilisation d'autres sources existantes, en particulier du charbon.

Un terme devrait par ailleurs être mis au gaspillage de « l'énergie dans la société de consommation ». L'exemple des transports montre qu'un arrêt de la sectorialisation de ce genre d'activités permettrait de sérieuses économies de combustibles. Il faut à ce propos s'ériger contre une façon néfaste d'aborder le problème des transports dans notre pays. Celle-ci conduit à décomposer secteur par secteur l'analyse économique d'un réseau de moyens de communications : voies ferrées, routières, aériennes, fluviales, méthode en contradiction avec la nature et le rôle de celui-ci. Une telle pensée économique tronquée, qui ne fait qu'une estimation partielle, voire tendancieuse des coûts, a conduit les responsables politiques européens et américains à privilégier systématiquement la route au détriment du rail. COMMONER (1972) rappelle cependant que le chemin de fer consomme 5,5 fois moins d'énergie que la route par tonne transportée et 7 fois moins si le réseau est électrifié !... De 1969 à 1970, le parc de locomotives électriques ne s'accroissait que de 2,2 % en France alors que celui des tractrices diesel, fonctionnant donc au fuel, plus bruyante et plus polluante, augmentait de 5,9 %, curieuse façon de limiter les importations de pétrole... (in LABEYRIE, 1973).

Que penser alors de projets en cours de réalisation qui prévoient de doter notre pays de 5 000 km d'auto-

TABLEAU IV

Véhicule	Nombre de km parcourus par litre de carburant	Nombre passagers	Passagers/km/litre de carburant
Automobile (1)	6	{ 1,3 (2) 4	{ 7,8 24
Autobus	2,28	{ 5 40	{ 11,4 91,1
Avion à réaction	0,1	54 (3)	5,4
Train électrique	0,8	600	480

(1) Automobile américaine.

(2) Taux moyen de remplissage en milieu urbain.

(3) Taux de remplissage moyen des compagnies aériennes mondiales en 1967.

routes supplémentaires d'ici 1980 ? Comment inter-préter certaines déclarations officielles qui exultent parce que le fret acheminé par la route croît de 10 % par an depuis 1970 alors qu'il stagne à la S.N.C.F. ?

Oublie-t-on que la route nécessite une emprise au sol dix fois supérieure à celle du fer à trafic égal ? (9) Feindrait-on d'ignorer que les 5 000 km d'auto-routes nouvelles à construire stériliseront au moins 100 000 hectares du territoire national ? Encore ne prenons-nous pas en compte dans cette estimation les dommages causés par ce réseau routier superflu aux exploitations agricoles coupées d'une partie de leurs champs, les perturbations du réseau hydrologique qui résultent du remblayage des vallées par les talus d'autoroutes, la pollution des nappes phréatiques due au suintement d'huile des camions, enfin l'empiètement sur les massifs forestiers domaniaux, plus faciles à exproprier, la nuisance sonore, etc...

Dans le même temps, les trains prennent chaque jour du retard sur les lignes saturées du réseau sud-est car il ne s'est posé que... 2 km de voies ferrées en 40 ans dans notre pays. En outre, on ne prévoit l'inauguration d'aucune ligne nouvelle d'ici 1980 ! A une époque où l'on s'obstine en haut lieu à vouloir « adapter Paris à l'automobile », même si cela conduit à défigurer le cœur même de la capitale, n'est-il pas opportun de rappeler que la voiture individuelle

consomme douze fois plus d'énergie que le métro par personne transportée ?

Le tableau IV permet de comparer les rendements énergétiques des principaux modes de transport (WATT, 1973), il montre l'énorme supériorité du train sur le plan de l'utilisation de l'énergie par rapport à la route ou à l'avion.

La sectorialisation de l'économie dans les pays occidentaux conduit à bien d'autres aberrations et engendre un gaspillage non moins important d'énergie dans plusieurs autres domaines d'activité que celui des transports.

En des temps où 26 % du pétrole importé en France sert au chauffage des habitations et des locaux commerciaux, on peut se demander par exemple quels arguments s'opposent à un couplage du chauffage urbain avec le circuit de refroidissement des centrales thermiques ? Les basses calories perdues au niveau des condenseurs pourraient être ainsi récupérées, diminuant du même coup la pollution thermique des cours d'eau. Il n'est pas exagéré d'estimer à 12×10^6 t/an l'économie de pétrole qui en résulterait pour notre pays... Dans de nombreux cas en effet, les centrales électriques sont situées à proximité des zones urbaines qui consomment *pro parte* l'énergie produite par les premières au chauffage des habitations. Il serait beaucoup plus logique de réserver l'électricité aux usages où elle est irremplaçable et de récupérer les basses calories qui ne peuvent plus produire de travail au chauffage urbain.

(9) Une voie ferrée de 12 mètres de large débite autant de marchandises et plus de voyageurs qu'une autoroute de 120 mètres d'emprise au sol !

Le cloisonnement artificiel introduit par la pensée économique occidentale — l'E.D.F. n'aurait pas vocation à vendre de l'eau chaude — constitue un obstacle insurmontable à la rationalisation de la politique énergétique.

Enfin, un autre secteur d'activités où la société dite de consommation gaspille frénétiquement l'énergie est celui de la production industrielle.

La substitution aux bouteilles en verre des plastiques conduit par exemple à un bilan énergétique très défavorable. En France, les seules bouteilles d'eau minérale et autres produits alimentaires liquides nécessitent chaque année la consommation de 300 000 tonnes de matières plastiques, c'est-à-dire en dernière analyse de pétrole. Encore, ne faisons-nous pas intervenir dans notre estimation la quantité d'énergie nécessaire à la synthèse de ces substances (polyéthylène ou PCV) ni celle consommée par la mise en forme de ces emballages. La substitution aux bouteilles de verre, parfaitement recyclables et plusieurs dizaines de fois, des matières plastiques jetées après usage et brûlées (10) s'est donc traduite par une consommation accrue d'énergie. Dans un même ordre d'idée, on a pu calculer aux Etats Unis que le recyclage des boîtes de conserve en aluminium permettrait de diviser par vingt la quantité d'énergie nécessaire à l'utilisation de ce métal comme matière première pour les emballages alimentaires. Il apparaît aussi de plus en plus urgent que notre civilisation « réhabilite le chiffonier » si elle veut éviter une sérieuse crise d'approvisionnement en matières premières indispensables. La transition de la « Société de consommation » à une « Société d'économie » (E. LISLE, 1974) s'impose de toute urgence.

En conclusion, la réflexion de l'écologiste sur ces problèmes conduit à une mise en cause radicale des principes mêmes de la stratégie industrielle dans la société dite « d'économie libérale ».

Mieux calorifier les bâtiments, construire des automobiles plus solides donc plus durables, que l'on changera donc moins souvent, produire en général des

objets manufacturés plus robustes donc plus coûteux à l'achat (pas toujours), tout cela suppose bien des mutations.

Etablir de nouvelles structures industrielles dont la finalité serait de réaliser des productions économes en énergie tant à la fabrication qu'à l'usage, implique un bouleversement complet de notre économie, fondée au contraire sur une incitation à un renouvellement fréquent des biens de consommation.

La recherche inconditionnelle du profit à court terme avec pour critère unique de l'efficacité économique une incessante minimalisation des prix de revient, conduit notre civilisation vers un cul de sac évolutif. Quand tiendra-t-on compte dans l'évaluation des coûts, du poids de divers procédés de fabrication réputés « rentables » sur l'environnement ?

Ces diverses réflexions rendent bien des écologistes sceptiques sur l'aptitude de notre Société à donner une solution rationnelle aux problèmes énergétiques dans ses structures actuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- COMMONER (B.), 1972. — The closing circle — confronting the environmental crisis. Jonathan Cape ed. London, 1972, 336 p.
- DUNCAN (D. C.) et SWANSON (V. E.), 1965. — Organic rich shales of the United States and world land areas. U. S. Geol. Survey, circular 523.
- GLASER (P. E.), 1974. — Sources mondiales d'énergie. Les promesses du Soleil. Courier UNESCO, janvier 1974, p. 16-21.
- HAMMOND (A. L.), 1972. — Solar energy : a feasible source of power ? *Science*, 172, 1971, 3984, 660.
- HUBBERT (K.), 1969 — Energy Resources, in Resources and Man. Ac. Nies des Sci. U. S., Freeman ed., 1969 p. 157-242.
- HUBBERT (K.), 1971. — Energy Resources, in Murdoch « Environment, resources, pollution and Society », Sinauer ed., 1971, p. 89-116.
- LABEYRIE (V.), 1972. — Modèles écologiques et aménagement de l'espace. *Experientia* (Bâle), 18, 1972, 616-622.

(10) Ce qui soulève de sérieux problèmes de pollution atmosphérique au voisinage des incinérateurs d'ordures.

- LABEYRIE (V.), 1973. — A propos de quelques conséquences écologiques de l'organisation des transports. *Esp. Geograph.*, n° 1, 1973, Doin ed., 5-20.
- LEBRETON (Ph.), 1973. — Centrales nucléaires et environnement : mise au point. *Bull. Soc. Linn. Lyon*, 41, 9, 1972, p. CV-CVIII.
- LEBRETON (Ph.), 42, 1, 1973, p. VII-XVI.
- LEBRETON (Ph.), 42, 2, 1973, p. XXI-XXXV.
- LEES (L.), 1970. — Waste heat on the Los Angeles basin in « Man's impact of the global environment ». MIT Press, 1970, p. 65.
- MAUGH (T. H.), 1972. — Hydrogen : synthetic fuel of the future. *Science*, 178, n° 4063 nov. 1972, 849-52.
- PERICART (J.), 1973. — La filière des réacteurs nucléaires à haute température. *Rev. Sci. Techn.*, juin 1973, 3-11.
- PERICART (J.), 1974. — Croissance industrielle, énergie nucléaire et nature : libres propos. *Suppl. Bull. Mens. Sté Linéenne de Lyon*, n° 3, mars 1974, XVII-XXXVI.
- SCIENTIFIC AMERICAN, 1971. — Energy and power. Vol. 224, n° 3, sept. 1971, 200 p.
- SUMMERS (C. M.), 1971. — The conversion of energy, in « Energy and power ». *Sci. Amer.*, 224, sept. 1971, n° 3, 148-60.
- WATT (K. E. F.), 1973. — Principles of environmental science. Mac Graw Hill ed., 1973, p. 155.

UNE ÉTUDE D'ÉCOLOGIE ÉVOLUTIVE : APPLICATION DE LA LOI DE MOTOMURA AUX FOURMIS

par H. INAGAKI

Laboratoire de Génétique Evolutive et de Biométrie, C.N.R.S., 91190 Gif-sur-Yvette.

et A. LENOIR

Laboratoire de Psychophysiology, Université de Tours, Parc de Grandmont, 37200 Tours.

RÉSUMÉ

La loi de Motomura de progression géométrique relative à la distribution de la densité de population dans un milieu a été appliquée à deux communautés de Formica de la Forêt Noire et à cinq communautés hétérogènes de Fourmis de Touraine. La densité de population x_i , mesurée par le nombre de nids, s'est traduite en fonction du rang i de l'espèce déterminée par ordre de x_i (Fig. 2 et 3). La valeur de la raison m de la progression géométrique ou coefficient de Motomura paraît moins élevée dans les communautés synécologiquement homogènes que dans celles qui sont synécologiquement hétérogènes.

Comme la limite inférieure de sécurité ($P = 0,01$) de la valeur absolue du coefficient de corrélation entre i et $\log x_i$ dépasse le seuil 0,95 ou 0,98, excepté dans la communauté de Formica en 1969, la loi se vérifie assez bien ou bien dans les deux catégories de communautés. Ces données étant comparables aux meilleurs résultats obtenus pour des communautés marines et d'eau douce, la loi de Motomura peut bénéficier d'une validité générale dans le domaine d'une écologie d'esprit darwiniste.

ZUSAMMENFASSUNG

Motomuras Gesetz der geometrischen Progression der Verteilung der Populationsdichte in einem Milieu wurde auf zwei Formica-Gemeinschaften im Schwarzwald und auf fünf heterogenerische Ameisengemeinschaften in der Touraine (Frankreich) angewandt. Die Populationsdichte x_i wurde anhand der Nesteranzahl gemessen und als Funktion der Artenreihe i dargestellt, die ihrem x_i gemäss eingeordnet wurden (Fig. 2 und 3). Der wert des Verhältnisses m der geometrischen Progression, oder Motomuras Koeffizient, erscheint weniger hoch in der synökologisch homogen Gemeinschaft, als in der synökologisch heterogenen Gemeinschaft. Da die

unter Sicherheitsgrenze ($P = 0,01$) des absoluten Wertes des Korrelationskoeffizienten zwischen i und $\log x_i$ die Schwelle 0,95 bzw. 0,98 überschreitet (ausgenommen die Gemeinschaft von Formica im Jahre 1969), wird das Gesetz ziemlich gut bzw. gut für beide Gemeinschaften bewiesen. Da diese Ergebnisse vergleichbar mit den besten bereits erhaltenen Resultaten über Tier- und Pflanzengemeinschaften des Meer- und Süßwassers sind, kann Motomuras Gesetz im Bereich einer darwinistisch gefärbten Ökologie eine allgemeine Bedeutung haben.

SUMMARY

Motomura's law about the geometrical progression of distribution of population density was applied to two Formica communities in the Black Forest and five heterogeneric ant communities in Touraine (France). The population density x_i was reckoned by the tale of nests and laid down as function of the species rank i which was settled according to the x_1 value (Fig. 2 and 3). The ration m of geometrical progression, or Motomura's coefficient, seems to be less in the synecologically homogeneous community than in the synecologically hetero-

geneous one. For both kinds of communities, unless for that of Formica in the year 1969, the law is shown to be fit fairly well or well, since the lower confidence limit of the correlation coefficient between i and $\log x_i$ in its absolute value rises beyond the threshold 0.95 or 98. As these data are matched to the best results hitherto given for animal and plant communities of sea and fresh water, so Motomura's law is deemed to hold good throughout the field of Darwinian-minded ecology.

1. INTRODUCTION

La loi de MOTOMURA (1932 à 1947) traduit les densités relatives de population des espèces pourvues d'un mode de vie comparable et installées dans un milieu équilibré. Les densités se distribuent selon une progression géométrique et correspondent à autant de degrés de dominance. Cette loi pourrait constituer l'un des piliers de l'écologie évolutive, en raison de sa bonne application à certaines communautés animales ou végétales et de son fondement théorique sur le Transformisme darwinien. Elle fut appliquée avec succès à quelques populations océaniques (INAGAKI, 1967) ou d'eau douce (DAGET et LÉVÊQUE, 1969). En ce qui concerne le milieu terrestre, on peut signaler la tentative de CANCELA DA FONCECA (1969) dans le cas des Acariens Oribates et, chez les Fourmis, celles de HAYASIDA (1959 à 1964), de HAYASIDA et MAEDA (1960) et de BARONI-URBANI (1968 a et b, 1969). Ces auteurs ne vérifièrent cependant pas la validité de l'équation de MOTOMURA.

On peut se demander si le milieu non-aquatique est suffisamment homogène pour obéir à une loi aussi simple que celle de la distribution en progression géométrique. Il est également possible que le modèle conçu par MOTOMURA (1947, traduit par INAGAKI,

1967) ne s'adapte qu'aux animaux (ou végétaux) bien attachés au sol; la faune de la surface terrestre est en général très tributaire des facteurs temporaires comme les conditions météorologiques. Cette faune ne trouverait son équilibre que dans un laps de temps très limité.

La difficulté du recensement précis des animaux dans un milieu terrestre pose aussi le problème de l'application de la loi de progression géométrique. La communauté planctonique peut être recensée avec une précision suffisante par une prise d'eau de volume défini et de couche de profondeur déterminée. Pour les populations benthiques marines ou d'eau douce, il suffit d'utiliser une méthode régulière de dragage ou d'autres techniques de prélèvement qui sont praticables dans beaucoup de cas. Par contre, il est très difficile de codifier, dans une communauté terrestre, la technique de prélèvements, sauf chez les Végétaux Trachéophytes. Chez ceux-ci cependant, le temps nécessaire, pour un équilibre des populations est le plus souvent très long, alors que les perturbations naturelles ou artificielles comme le changement du climat, l'incendie ou la pollution de l'air rompent facilement l'équilibre établi. De ce point de vue, la loi de progression géométrique n'aurait pas beaucoup de chance de s'appliquer aux Végétaux Trachéophytes, comme en témoignent les résultats obtenus

par WHITTAKER (1965) sur les communautés de plantes terrestres.

Parmi les groupes d'animaux terrestres susceptibles de parvenir plus ou moins rapidement à un équilibre synécologique, les Insectes sociaux terricoles sont probablement les mieux adaptés au modèle de Motomura : leur nid occupe un emplacement fixe et le recensement en est facile. Nous avons essayé, de ce point de vue, d'appliquer la loi de progression géométrique aux Fourmis de la Forêt Noire recensées par KLIMETZEK (1972) et à celles de Touraine étudiées par LENOIR (1971).

2. LOI DE MOTOMURA DE PROGRESSION GÉOMÉTRIQUE ET MÉTHODE DE MESURE DE LA DENSITÉ DE POPULATION

Nous ne détaillerons pas ici la théorie de Motomura qui fut largement commentée par INAGAKI (1967). Nous présentons simplement l'essentiel de la loi de progression géométrique.

Supposons que, dans un milieu, coexistent s espèces dont le rang i de dominance est mesuré par la densité de population x_i , la densité de l'espèce la plus dominante étant x_1 . Si le milieu est en équilibre, la relation entre x_i et x_1 se traduira par la formule :

$$x_i = m^{(i-1)} x_1 \quad (1)$$

m étant la raison de la progression géométrique et s'appelant, dans la loi de Motomura, *coefficient de milieu ou de Motomura*.

Si l'on prend le logarithme des deux membres de la formule (1), celle-ci devient :

$$\log x_i = (i-1) \log m + \log x_1 \quad (1')$$

la formule (1') signifie que, si l'on porte i en abscisse arithmétique et x_i en ordonnée logarithmique, la relation entre les deux variables sera figurée par une droite, $\log m$ et $\log x_1$ étant considérées comme constantes.

L'application de cette formule à un milieu considéré nécessite de traduire la densité de population x_i .

Deux méthodes ont été proposées jusqu'à maintenant de façon tout à fait empirique : 1° le nombre d'individus, et 2° la biomasse. Avant de justifier une troisième méthode destinée aux populations de Fourmis, il est opportun d'analyser la signification écophysiologique des deux premières.

La théorie de Motomura repose sur un modèle de concurrence interspécifique dans un milieu en équilibre. Le degré de dominance d'une espèce dans ce milieu est déterminé par sa réussite dans la lutte pour la vie et se reflète sur la densité de population. Autrement dit, la notion de densité de population conforme à la loi de Motomura doit être définie par le degré de dominance.

Le modèle de Motomura est conçu pour les animaux ou les végétaux dont le mode de vie est comparable entre eux. On peut considérer en première approximation que le degré de dominance d'une espèce est proportionnel à sa consommation énergétique globale. Cette consommation correspond à la part spécifique de la source énergétique disponible dans le milieu, part que l'espèce obtient à la suite de sa lutte contre les autres espèces.

La consommation énergétique de plusieurs espèces peut être comparée par leur activité catabolique ou respiratoire. Une telle activité F de l'ensemble de n individus d'une espèce s'exprime par la formule :

$$F = \sum_{j=1}^n p_j q_j \quad (2)$$

p_j et q_j étant respectivement l'intensité catabolique (par unité de biomasse) et la biomasse du j ème individu.

En ce qui concerne la relation entre p_j et q_j , deux cas peuvent être envisagés dans une communauté d'animaux ou de végétaux :

1° Dans une communauté d'espèces sessiles, p_j ne varie pas beaucoup selon q_j , car les individus consomment peu d'oxygène. La diminution relative de la surface respiratoire, par rapport au volume, qui résulte de l'augmentation de q_j , modifierait assez

peu son intensité catabolique (par unité de q_i). Dans cette condition, la formule (2) peut être remplacée, en première approximation, par :

$$F = \bar{p} \sum_{i=1}^n q_i \quad (3)$$

$\bar{p}$ étant la moyenne de l'intensité catabolique de n individus. Selon cette formule, F est proportionnelle à la masse totale des n individus et, en conséquence, à la densité de population x_i en terme de la loi de Motomura. Si la constante de cette proportionnalité est *grossa modo* identique pour toutes les espèces de la communauté, x_i peut être estimé par la biomasse totale de l'espèce considérée.

2° Dans une communauté d'espèces vagiles, la consommation d'oxygène est importante, si bien que le rapport de la surface respiratoire et du volume ou de la masse influe sur la valeur de p_i . En général, plus q_i est grand, plus p_i diminue. Dans beaucoup de cas, le produit $p_i q_i$ augmente relativement peu lorsque q_i grandit; mais

$$F = \sum_{i=1}^n p_i q_i$$

augmentera sûrement quand s'élève le nombre d'individus n .

La densité de population d'une espèce serait donc mieux mesurée par n que par la biomasse totale.

Le raisonnement qui vient d'être présenté se déroule en approximation. La sessilité ou la vagilité des espèces que nous avons discutée ne peut, souvent, être tranchée. Beaucoup de Gastéropodes, par exemple, sont considérés, soit comme sessiles, soit comme vagiles au point de vue de la loi de Motomura, en raison de la lenteur de leur déplacement. Les résultats obtenus par DAGET et LÉVIEUX (1969) expliquent la possibilité de traduire de deux façons la densité de population des Gastéropodes dans le Lac Tchad. Par contre, le cas des Microplanctons ou des Algues analysés par INAGAKI (1967) peut être tranché sans ambiguïté : la densité des Microplanctons, vagiles,

est mesurée par le nombre d'individus et celle des Algues, sessiles, par leur biomasse.

Les Fourmis sont des animaux vagiles. Il vaudra donc mieux traduire la densité de population par le nombre d'individus que la biomasse, si le milieu est occupé par des espèces de taille comparable. Or, ce nombre d'individus subit le plus souvent une variation considérable au cours des années même si le milieu ne change guère, tandis que le nombre de nids se montre beaucoup plus stable (1).

La traduction par ce nombre de nids de la densité de population peut être justifiée de façon suivante :

Considérons d'abord le cas de différentes colonies d'une même espèce. Dans un milieu équilibré, la majorité des colonies en présence atteignent le maximum de leur développement, qui est conditionné par le plafonnement de la fécondité de la reine, s'il s'agit de colonies monogynes qui sont le plus souvent monocaliques. L'effectif d'une colonie stabilisée est certainement variable. Mais, on pourrait supposer une moyenne spécifique peu fluctuante dans un milieu suffisamment grand et homogène. Le même milieu équilibré loge généralement une minorité de colonies en voie de développement. Ayant une certaine taille, elles sont compétitives vis-à-vis des colonies âgées; elles se distinguent alors des colonies au début de fondation qui sont vite éliminées (PONTIN, 1970, LÉVIEUX, 1972). Dans ces colonies en voie de développement, l'effectif est inférieur à celui des colonies âgées. La consommation énergétique n'est pas moindre pour autant, car celles-là contiennent plus de

(1) PICKLES (1940) a étudié pendant quatre ans l'évolution du nombre de nids et de celui d'individus (adultes, larves et nymphes) dans une lande du Nord de l'Angleterre. Le nombre de nids avait presque doublé chez les trois espèces principales, *Lasius flavus* L., *Myrmica ruginodis* NyL. et *Formica fusca* L., alors que le nombre d'individus avait fluctué bien davantage et de manière peu parallèle au nombre de nids. Ces études témoignent que, même dans un biotope occupé par des colonies matures, le nombre total d'individus peut varier radicalement d'une année à l'autre. Le phénomène était particulièrement net dans le cas de *Formica fusca* où le nombre d'individus avait beaucoup baissé en 1939 alors que le nombre de colonies avait augmenté. C'est certainement le second critère, qui permet de mieux saisir la compétition des espèces. Dans une population stable, le nombre de colonies varie peu, car elles ont une mortalité faible et ne produisent pas beaucoup de sexués, fondateurs de nouvelles colonies (WILSON, 1971).

larves que celles-ci et la croissance de ces larves exigent une consommation énergétique élevée (2).

Les colonies en compétition dans le milieu équilibré (colonies âgées et celles qui sont en voie de développement) sont convenablement distancées les unes des autres (LÉVIEUX, 1972). Bien que la superficie occupée par différentes colonies en compétition soit variable, on peut établir une moyenne spécifique. Cette moyenne ne peut beaucoup fluctuer dans un milieu suffisamment grand et homogène. Dans cette condition, la colonie (monocalique) constituera une unité de la densité de population.

Il existe des espèces dont la colonie très peuplée est polycalique; une colonie se compose de plusieurs nids qui communiquent entre eux. Il n'est pas impossible que, dans l'ensemble des colonies polycaliques, le nombre de nids augmente parallèlement à la consommation énergétique.

En somme, dans les espèces à colonie monocalique, une jeune colonie moins peuplée, qui est en voie de développement, est souvent comparable, du point de vue énergétique, à une grande colonie âgée; et, dans les espèces à colonie polycalique, le nombre de nids peut être proportionnel au degré de développement de la colonie et à sa consommation énergétique. Dans les deux cas, le nombre de nids constituerait, en première approximation, une unité de la densité de population conforme à la loi de Motomura.

Ce raisonnement peut être étendu à la comparaison des nids de plusieurs espèces dont le mode de vie, la taille et l'effectif d'un nid sont semblables. La concurrence intraspécifique discutée ci-dessus se remplace sans beaucoup de modification par une concurrence interspécifique. Nous appelons la communauté de telles espèces « communauté synécologiquement homogène ». C'est généralement le cas des espèces sympatriques d'un même genre. Même en cas d'es-

pèces hétérogénéiques, la communauté peut être synécologiquement homogène. Dans une telle communauté, les conditions pour l'application de la loi de Motomura seront acquises sans difficulté théorique et le nombre de nids traduira la densité de population de façon satisfaisante.

Dans une communauté « synécologiquement hétérogène » ou celle qui est composée de plusieurs catégories d'espèces classées par la taille, l'effectif d'un nid et la préférence alimentaire, on peut appliquer la loi de Motomura à chaque catégorie. Dans cette communauté, au lieu d'une seule distribution en progression géométrique, il faudra envisager autant que de catégories. L'assemblage de plusieurs progressions géométriques peut donner dans certains cas l'aspect d'une distribution composite en progression géométrique, comme le montre la figure 1. La loi de Motomura n'étant expliquée qu'en terme probabiliste, un tel aspect signifiera l'équivalence à une véritable progression géométrique, si l'ajustement à la loi de la distribution obtenue par le recensement est satisfaisant (pour l'ajustement, voir le paragraphe suivant).

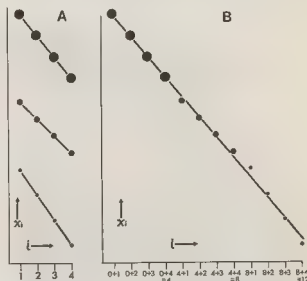


FIG. 1 — Schéma de la composition d'une progression géométrique approximative (B, à droite) à partir de quelques progressions géométriques simples (A, à gauche). i : rang de l'espèce; x_i : densité de population de l'espèce de rang i .

(2) Chez les Abeilles, la consommation énergétique par unité de poids est particulièrement grande au stade larvaire initial et diminue de façon importante avec la croissance préimaginaire. On observe le taux minimal au moment de la nymphose ou peu de jours après celle-ci, puis une légère augmentation. Il est en tout cas établi que le taux observé chez une vieille ouvrière n'atteint jamais celui d'une jeune larve (ALLEN in CHAUVIN, 1968, p. 205).

La distribution composite peut avoir une valeur du coefficient de Motomura élevée par rapport à celle de la distribution simple, pour la raison suivante : comme le montre la figure 1, l'assemblage de plusieurs distributions unites a pour conséquence l'augmentation du nombre des espèces dominantes. Cette augmentation entraînerait l'allongement de l'échelle correspondant à i et la diminution de la pente de la droite de régression de $\log x_i$ en i . Le coefficient de régression $\log m$ de $\log x_i$ en i étant toujours négatif, m augmentera avec la diminution de cette pente.

Nous venons de proposer le nombre de nids pour traduire la densité de population des Fourmis dans deux cas : les communautés synécologiquement homogène et hétérogène. Cette méthode proposée sera soumise à l'épreuve par l'application de la loi de Motomura à deux séries de données : les premières sont celles de KLIMETZKE (1972) constituées par deux recensements d'une communauté monogénérique (Groupe de *Formica rufa* L.) dans la Forêt Noire et les secondes, celles de LENOIR (1972) relatives à cinq communautés hétérogénériques en Touraine. Si la loi se vérifie bien, la méthode de recensement de la densité sera jugée satisfaisante.

3. — APPLICATION DE LA LOI DE MOTOMURA AUX FOURMIS DE LA FORÊT NOIRE ET DE TOURAINE

Selon KLIMETZKE (1972), le nombre de nids de cinq espèces de *Formica* subit un changement non-négligeable entre 1966 et 1969 : le nombre total de nids, qui s'élevait à 260 au premier recensement, tombe à 208 au dernier recensement. La répartition de ce nombre entre les cinq espèces change également, ce qui laisse croire à une modification de l'équilibre dans la communauté. Les données des deux recensements sont donc considérées comme celles de deux milieux ou communautés différents. Sur la figure 2, le nombre de nids est porté en ordonnée logarithmique et le rang de l'espèce, en abscisse arithmétique.

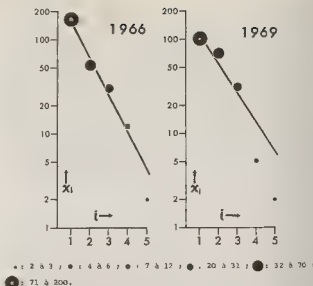


Fig. 2 — Nombre de nids x_i (échelle logarithmique) en fonction du rang i de l'espèce (échelle arithmétique) chez les espèces du Groupe *Formica rufa* L. de la Forêt Noire, recensées en 1966 (à gauche) et en 1969 (à droite) (données de KLIMETZKE, 1972). 1: *F. rufa* L.; 2: *F. polyctena* Foerster, 3: *pratensis* Retz. 4: *F. lugubris* Zetterst.; 5: *F. truncorum* Fab. Les cercles représentent le nombre de nids comme suit :

Parmi les huit stations étudiées par LENOIR (1971), cinq l'ont été de façon approfondie. Ce sont :

- Station I, coupe sableuse plantée en pins.
- Station II, bois à chênes pubescents.
- Station IV, chênaie à *Molinia caerulea*.
- Station V, peupleraie sèche sur sable.
- Station VIII, pelouse xérothermique de coteau calcaire.

La distribution du nombre de nids dans ces cinq stations est figurée sur la figure 3 de la même manière que dans le cas de *Formica* de la Forêt Noire. On voit toutefois que, dans ces cinq stations, certains rangs sont occupés par plus de deux espèces. Nous avons alors procédé à l'arrangement suivant : lorsque p espèces occupent le rang i , nous laissons les rangs $(i + 1)$, $(i + 2)$, ..., $(i + p - 1)$ inoccupés. A la station II, par exemple, les rangs 2, 7 et 8 sont inoccupés.

A côté du rang de l'espèce, déterminé pour chaque milieu, nous établissons un rang général pour toutes les stations étudiées, en vue d'évaluer un ordre de

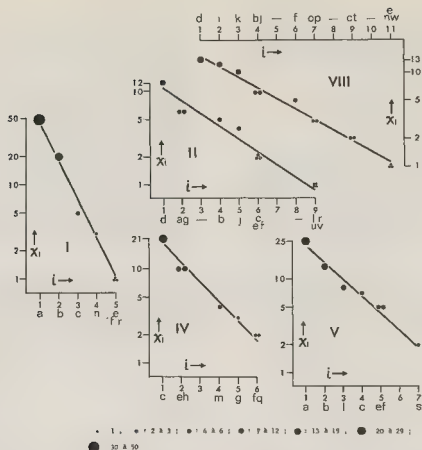


FIG. 3. — Nombre de nids X_i (échelle logarithmique) en fonction du rang i de l'espèce (échelle arithmétique) chez les Fourmis de Touraine recensées en 1970 (données de LENOIR, 1971). Code de l'espèce (les chiffres entre parenthèses indiquent le pourcentage moyen de présence dans les cinq milieux): a (23,09): *Tetramorium caespitum* L.; b (13,41): *Tapinoma erraticum* Latr.; c (12,55): *Lasius niger* L.; d (9,83): *Plagiolepis vindobonensis* Lomnicki; e (6,76): *Formica fusca* L.; f (4,93): *Myrmica sabuleti* Meinert; g (4,37): *Aphaenogaster subterranea* Latr.; h (3,80): *Myrmica ruginodis* Nyl.; i (3,64): *Camponotus aethiops* Latr.; j (3,62): *Solenopsis fugax* Latr.; k (3,05): *Aphaenogaster gibbosa* Latr.; l (2,87): *Lasius flavus* L.; m (1,49): *Myrmecina graminicola* Latr.; n (1,03): *Lasius alienus* Foerst.; o (0,90): *Camponotus piceus* (Leach); p (0,90): *Messor structor* Latr.; q (0,75): *Leptothorax parvulus* Schenk; r (0,61): *L. sp.*; s (0,61): *Formica pratensis* Retz; t (0,59): *F. rufibarbis* Fabr.; u (0,42): *F. gagates* Latr.; v (0,42): *Lasius emarginatus* Oe.; w (0,30): *Leptothorax unifasciatus* Latr. Les chiffres romains traduisent le numéro de la station. Les cercles représentent le nombre des nids comme suit:

• 1, • 2 à 3; • 4 à 6; • 7 à 12; • 13 à 19; • 20 à 29;
● 30 à 50

puissance des espèces dans la région. Ce rang général est déterminé en fonction du pourcentage moyen de présence (3) dans les cinq milieux; il est codifié selon l'ordre alphabétique.

(3) Cette façon de déterminer le rang général est loin d'être idéale. Une méthode plus raffinée doit être recherchée. Les tentatives ne manquent d'ailleurs pas dans ce sens. GASPARD (1971) propose, pour choisir des « espèces indicatrices », la variance commune v issue de l'analyse factorielle des corrélations de présence entre espèces étudiées. La valeur de v s'élève, en Famenne,

à 0,4222 pour *Tetramorium caespitum* L. (rang général en Touraine: a), à 0,5138 pour *Tapinoma erraticum* Latr. (rang général: b), 0,0753 ~ 0,1459 pour *Lasius niger* L. (rang général: c) et à 0,4058 pour *Leptothorax unifasciatus* Latr. (rang général: w). Cette dernière espèce, peu représentée en Touraine, l'est également en Famenne, malgré la valeur de v élevée. Le défaut de cette méthode en est qu'une majorité des espèces étudiées sont xérophiles (a, b, w) ou xérophiles-thermophiles. Dans cette condition, la corrélation de présence entre espèces est en moyenne plus forte chez les xérophiles ou les xérophiles-thermophiles que chez les hygrophiles ou hygrophiles-thermophiles. La variance commune est donc généralement plus élevée chez les premières que chez les secondes, bien que certaines de celles-ci aient une valeur indicatrice.

Afin d'estimer la raison m de la progression géométrique ou coefficient de Motomura, nous calculons le coefficient de régression M de $X_i = \log x_i$ en i , par la formule :

$$M = \left(\sum_{i=1}^s x_i i x_i \right) \left(\sum_{i=1}^s x_i i^2 \right)^{-1} \quad (4)$$

s étant le nombre des espèces recensées avec précision dans chaque station. Nous avons adopté, pour ce calcul du coefficient de régression, une méthode de pondération de iX_i et de i^2 par x_i , car l'importance de iX_i et de i^2 doit varier en proportion à la densité de population x_i elle-même.

Nous consignons, dans le tableau I, la valeur du coefficient de Motomura obtenue à partir de $M = \log m$.

L'ajustement de la loi de Motomura aux résultats du recensement peut être apprécié par la valeur du coefficient de corrélation r_{ix} entre i et X_i . INAGAKI (1965, 1967, 1971) proposa les seuils suivants de la valeur de r_{ix} : au dessus de $r_{ix} = 0,95$, la loi est *approximativement vérifiée*; au dessus de 0,98, elle l'est *assez rigoureusement*; et au-dessus de 0,99, elle l'est *rigoureusement*. Nous pensons ici que ces seuils proposés, convenables pour une loi morphologique, sont cependant trop élevés pour juger une loi écolo-

TABLEAU I

Résultats d'application de la loi de Motomura aux communautés de Fourmis de la Forêt Noire et de Touraine, en comparaison avec ceux qui furent obtenus dans trois communautés marine, d'eau douce et terrestre. m : coefficient de Motomura; r_{ix} : coefficient de corrélation de i et de $\log x_i$ (i : rang de l'espèce et x_i : densité de population de l'espèce du rang i); ρ : limite inférieure de sécurité de $|r_{ix}|$ (coefficient de risque $P = 0,01$).

Communauté ou milieu recensé		Auteur des données brutes	Nombre d'observations	Nombre de rangs d'espèces	m	r_{ix}	ρ	Ajustement de la loi de Motomura aux données
Formica de la Forêt Noire	recensement en 1966	KLIMETZEK (1972)	260 (nombre de nids)	5	0,40	0,989	0,986	bien
	recensement en 1969	<i>id</i>	208 (")	5	0,49	0,925	0,898	insuffisant
	Station I	LENOIR (1971)	80 (")	5	0,37	0,989	0,983	bien
	Station IV	<i>id.</i>	52 (")	6	0,62	0,991	0,982	bien
	Station V	<i>id.</i>	65 (")	7	0,66	0,975	0,955	assez bien
	Station II	<i>id.</i>	43 (")	9	0,73	0,977	0,952	assez bien
Station VIII		<i>id</i>	65 (")	11	0,77	0,987	0,977	assez bien
Microplanctons méditerranéens (Station 79 Couche 50 m)		LECAL (1954)	1898 (nombre d'individus)	26	0,77	0,983	0,982	bien
Gastéropodes du Lac Tchad (Fond . Argile molle)		DAGET et LEVEQUE (1969)	799 (")	9	0,47	0,986	0,984	bien
Acanthens Onbates (Prairie Verger)		CANCELA DA FONCECA (1969)	51 (")	9	0,71	0,974	0,949	niveau limite d'acceptation

gique, car le recensement dans la nature comporte généralement plus d'erreurs que ne le fait une mesure au laboratoire et, dans un milieu où l'on applique la loi de progression géométrique, il peut exister beaucoup de facteurs incontrôlables. Il vaut donc mieux allouer à la vérification de cette loi plus de tolérance que celle qu'admit INAGAKI. Nous proposons, de ce point de vue, le seuil de $\rho = 0,98$ au-dessus duquel nous considérons la loi comme *bien vérifiée* et celui de $\rho = 0,95$ au-dessus duquel elle l'est *assez bien*, ρ étant la limite inférieure de sécurité de r_{IX} avec le coefficient de risque $P = 0,01$. L'intervalle de sécurité de $|r_{IX}|$ peut être obtenu au moyen de la transformation de $|r_{IX}|$ en z de Fisher. Le nombre de mesures, nécessaire pour déterminer le degré de liberté, se traduit par le nombre d'observations, c'est-à-dire celui des nids recensés.

Nous adoptons, pour le calcul de r_{IX} , la méthode de pondération par x_i , comme dans le cas de M :

$$r_{IX} = \left(\sum_{i=1}^g x_i I X_i \right) \left(\sum_{i=1}^g x_i I^2 + \sum_{i=1}^g x_i X_i^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Les valeurs de r_{IX} ainsi calculées sont consignées dans le tableau I. Nous y ajoutons, à titre de comparaison, les valeurs calculées (par la formule (5)) à partir des meilleures données de LECAL (1954), de CANCELA DA FONCECA (1969) et de DAGET et LÉVÊQUE (1969).

La modalité de la distribution de la densité de population, figurée dans les figures 2 et 3, nous laisse croire à une bonne ou assez bonne application de la loi de progression géométrique. La pente de la droite de régression est très élevée en valeur absolue dans la Forêt Noire (en 1966) et à la Station I de Touraine. Elle l'est beaucoup moins aux quatre autres stations. Le coefficient de Motomura traduit nettement cette différence : $m < 0,5$ dans les premiers milieux et $m > 0,5$ dans les seconds. Quant aux communautés des autres organismes, le coefficient est très élevé chez les Microplanctons méditerranéens et les Acariens Oribates et moins élevé chez les Gastéropodes du Lac Tchad. L'estimation de l'intervalle de sécurité de $M = \log m$, effectuée par la méthode de REEVE (1940), montre que m est significativement supérieur à 0,5 aux stations II, IV, V

et VIII de Touraine, chez les Microplanctons et les Acariens et significativement inférieur à 0,5 dans la communauté de *Formica* en 1966, à la Station I de Touraine et chez les Gastéropodes. Dans la communauté de *Formica* en 1969, la valeur de m s'approche de 0,5.

Quant au coefficient de corrélation r_{IX} , la limite inférieure de sécurité ρ de sa valeur absolue dépasse 0,95, sauf dans le recensement de KLIMETZEK en 1969 et celui de CANCELA DA FONCECA. Elle excède même 0,98 dans le recensement de KLIMETZEK en 1966, aux Stations I et IV et aux milieux aquatiques. La loi de Motomura est donc bien vérifiée à trois communautés de Fourmis ainsi qu'aux communautés aquatiques, assez bien vérifiée à trois autres communautés de Fourmis.

4. — DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous venons de traiter par la loi de Motomura deux séries de communautés de Fourmis, les unes monogénériques ou synécologiquement homogènes et les autres hétérogénériques et synécologiquement hétérogènes, en comparaison avec les communautés d'autres organismes. La distribution de la densité de population mesurée par le nombre de nids concorde généralement avec la loi de progression géométrique. L'ajustement médiocre à la loi de la communauté de *Formica* en 1969 peut s'expliquer par un déséquilibre du milieu dont la cause est certainement le quasi-anéantissement des deux colonies les plus grandes de *F. rufa* L. composées de 43 et de 35 nids. La décroissance de la densité de l'espèce principale d'une telle amplitude, qui ne peut être qu'accidentel, nous conduit à considérer l'aspect du milieu en 1969 comme anormal et exceptionnel.

Théoriquement, la communauté synécologiquement homogène s'ajusterait mieux à la loi de progression géométrique que la communauté synécologiquement hétérogène. Dans cette seconde communauté, la distribution obtenue par le recensement n'est en progression géométrique que sous forme composite, comme nous l'avons évoqué dans le § 2. La corrélation entre le

logarithme de la densité de population et le rang de l'espèce serait en général moins forte dans une distribution composite que dans une distribution simple.

En réalité, cette corrélation montre presque le même ordre dans les deux séries de communautés de Fourmis. A part la communauté de *Formica* en 1969, la loi de Motomura se vérifie, bien ou assez bien, dans les deux séries. Ce fait suggère que la théorie présentée dans le § 2 est valable, aussi bien pour la communauté synécologiquement homogène que pour celle qui est synécologiquement hétérogène.

On constate que les résultats obtenus dans trois communautés de Fourmis (Forêt Noire en 1966 et Stations I et IV de Touraine) sont comparables aux meilleures données précédentes, analysées de nouveau par la méthode de pondération dans le présent travail. Dans une communauté de Microplanctons méditerranéens, r_{ix} atteint 0,983, ρ dépasse 0,98; chez les Gastéropodes du Lac Tchad $|r_{ix}|$ s'élève à 0,986, ρ excède 0,98. L'équivalence de ces deux valeurs de ρ à celle des trois communautés de Fourmis, à l'écart de 0,001 à 0,002 près, nous permet de confirmer que la loi de progression géométrique s'applique à certains milieux terrestres avec une précision du même ordre qu'aux milieux aquatiques. Les résultats plutôt incertains obtenus par CANCELA DA FONCECA (1969) sur une communauté d'Acariens Oribates auraient probablement été améliorés par un choix judicieux de la méthode d'échantillonnage et aussi par l'augmentation du nombre d'observations. CANCELA DA FONCECA fit son analyse sur 51 individus comptés, tandis que notre analyse s'appuie sur 43 à 260 nids dénombrés. La mesure du nombre d'individus comporte évidemment beaucoup plus d'erreurs que celle du nombre de nids et, par conséquent, nécessite, pour obtenir une bonne application de la loi écologique, un ordre comparable à celui des données de DAGET et LÉVÊQUE.

Quant à la valeur du coefficient de Motomura m , elle paraît généralement moins élevée dans la communauté synécologiquement homogène que celle qui est synécologiquement hétérogène, comme nous l'avons supposé dans le § 2.

La communauté de *Formica* en 1966 montre en effet une valeur de m nettement inférieure à 0,5 (la communauté en 1969, à laquelle la loi de progression géométrique est inapplicable, doit être exclue de la présente discussion). Celle des Gastéropodes du Lac Tchad, qui semble synécologiquement homogène, a également une valeur de $m < 0,5$. Chez les Acariens Oribates, m dépasse largement 0,5. Mais, la valeur de ρ étant au niveau limite d'acceptation pour la loi de Motomura, il vaudrait mieux l'exclure de la discussion.

Chez les Fourmis de Touraine, seule la Station I donne une valeur de m inférieure à 0,5. La communauté est pourtant loin d'être homogène : *Lasius niger* L. (rang général : c) est plutôt éleveur de Pucerons et *Formica fusca* L. (rang général : e), exclusivement insectivore. L'équilibre du milieu est néanmoins entretenu essentiellement par trois premières espèces dominantes : *Tetramorium caespitum* L. (rang général : a), *Tapinoma erraticum* Latr. (rang général b) et l'espèce (c), respectivement omnivore, omnivore (ou éleveur de Pucerons) et éleveur de Pucerons. Parmi ces trois espèces, il doit exister une concurrence directe qui amène une distribution simple de la densité de population en progression géométrique (4). La communauté se qualifie donc plutôt synécologiquement homogène qu'hétérogène, si l'on ne considère que les espèces principales dont la densité relative de population est largement prépondérante par rapport à celle des autres espèces.

Aux autres quatre stations, la valeur de m augmente dans l'ordre suivant : Stations IV, V, II et VIII. Dans ces milieux, la densité des espèces dont le

(4) On pourra objecter l'existence de cette concurrence triangulaire, si le classement des Fourmis par GASPARD (1972) selon la préférence hygrothermique est exact. D'après l'auteur belge, *Tetramorium caespitum* (a), *Tapinoma erraticum* (b) et *Lasius niger* (c) sont respectivement xérophile, xérophile et hygrophile. La troisième espèce peut participer à la lutte pour l'alimentation contre les deux autres, mais ne peut en disputer l'habitat. Cependant, suivant GÖSSWALD (1938, 1941), les espèces (a), (b) et (c) sont respectivement euryèce, thermophile et hygrophile, ce qui rend possible la concurrence triangulaire pour l'habitat. Ce classement ayant été effectué à la fois selon les résultats de l'expérience au laboratoire et selon les observations sur les terrains (alors que le classement par GASPARD ne s'appuie que sur le deuxième critère), la thèse de l'auteur allemand semble mieux assurée. Elle s'accorde en tout cas avec notre analyse par la loi de Motomura.

rang est inférieur à quatre est non-négligeable. Entre les espèces à densité de population plus ou moins élevée, on trouve une différence quant à la préférence alimentaire. De ce point de vue, les communautés installées dans ces milieux sont considérées comme synécologiquement hétérogènes. Le nombre r des rangs, que nous supposons un indicateur de l'hétérogénéité de la communauté (voir § 2), augmente, dans l'ensemble des cinq stations de Touraine, suivant le même ordre que m : (1) $m = 0,37$ et $r = 5$ à la Station I, (2) $m = 0,62$ et $r = 6$ à la Station IV, (3) $m = 0,66$ et $r = 7$ à la Station V, (4) $m = 0,73$ et $r = 9$ à la Station II et (5) $m = 0,77$ et $r = 11$ à la Station VIII.

Il est intéressant de comparer les milieux qui se trouvent aux deux extrémités de cet ordre : Les Stations I et VIII. Ces deux stations se distinguent par la différence des espèces dominantes. A la Station I, les trois premiers rangs sont occupés par les espèces (a), (b) et (c), tandis que, à la Station VIII, aucun de ces (a), (b) et (c) n'a un rang supérieur à quatre. Aux trois autres stations étudiées, un ou deux des (a), (b) et (c) occupent un ou deux des trois premières positions dominantes.

Les trois espèces dominantes à la Station VIII sont : *Plagirolepis vindobonensis* Lomnicki (rang général : d), *Camponotus aethiops* Latr. (rang général : f) et *Aphaenogaster gibbosa* Latr. (rang général : k). Elles sont considérées comme espèces de la faune méditerranéenne, tandis que l'espèce (a) appartient à la faune cosmopolite et les espèces (b) et (c) à la faune boréo-alpine et angarienne (LENOIR, 1971). Les espèces (d), (f) et (k) « représentant, en Touraine, la limite nord-est, jusqu'alors méconnue, de leur peuplement occidental » (*idem*). On peut donc supposer que la Station VIII abonde en espèces plutôt submodales, tandis que la Station I est dominée par les espèces modales.

Malgré la dominance relative des espèces submodales, la Station VIII conserve des espèces modales avec une densité de population appréciable, ce qui entraîne l'augmentation du nombre d'espèces en compétition et l'accroissement de l'hétérogénéité synécologique de la communauté.

La structure des communautés de Fourmis s'explique ainsi par la loi de Motomura. Deux critiques peuvent toutefois être adressées à notre travail :

De premier abord, les milieux étudiés par LENOIR (1971) ne sont pas tous homogènes des points de vue pédologique et sociologique végétal; les conditions des terrains ne permettent pas une distribution homogène des plantes. La seconde critique portera sur la technique de recensement. LENOIR employait un simple comptage de nids. Il aurait sans doute été préférable d'utiliser les surfaces standards mises au point par de nombreux myrmécologues.

A ces deux critiques éventuelles on pourrait répondre de la façon suivante :

Une certaine hétérogénéité de la distribution des plantes n'entraîne pas forcément celle des Fourmis dont la nidification n'est pas strictement tributaire de la répartition végétale. L'homogénéité suffisante de la distribution des Fourmis dans un milieu peut être vérifiée par l'ajustement des données à la loi de Motomura, c'est-à-dire par la valeur absolue du coefficient de corrélation r_{KX} . Si la limite inférieure de sécurité de r_{KX} est suffisamment élevée ($\rho > 0,95$ ou $\rho > 0,98$) comme nous l'avons proposé ci-dessus, non seulement la loi de Motomura est vérifiée, mais aussi l'homogénéité de la distribution des Fourmis l'est suffisamment. Avec le même raisonnement, on peut répliquer à la seconde critique. Si la technique de recensement n'était pas suffisamment constante, nous n'aurions pas des valeurs de ρ suffisamment élevées. Or, nous avons obtenu des valeurs de ρ qui dépassent le seuil 0,95 voire 0,98, excepté dans le cas de recensement de la communauté de *Formica* en 1969.

La difficulté d'application de la loi de progression géométrique à des populations d'animaux terrestres est ainsi surmontée, probablement grâce à la méthode de mesure de la densité de population par le nombre de nids. Une telle méthode ne semble pas se limiter aux Insectes sociaux. Il suffirait de considérer d'autres formes d'agglomérations d'individus que la société. Par exemple, le nombre d'hôtes parasités dans un milieu pourrait traduire mieux la densité de popula-

tion de parasites que le nombre d'individus de ceux-ci, l'hôte constituant un lieu de regroupement.

Nous pouvons ainsi espérer une généralisation de la loi de Motomura aux différents type de communautés, si les conditions nécessaires du milieu sont remplies et qu'une méthode judicieuse de recensement soit établie. Cette généralisation contribuera à consolider une écologie évolutive fondée sur un principe darwiniste. Chaque terme de la progression géométrique correspondant à un rang de l'espèce déterminé en fonction de sa réussite dans la lutte pour la vie, on peut alors concevoir une notion d'espèce synécologique évolutive.

L'exemple de la communauté du Groupe *Formica rufa* de la Forêt Noire en 1966 illustre la signification d'une telle notion. La spéciation dans ce groupe, définie par la systématique descriptive, doit être soumise à une vérification par la biologie évolutive. C'est l'ajustement de la communauté au modèle de Motomura relatif à la concurrence interspécifique qui permet de vérifier cette spéciation. S'il s'agissait d'un groupe de sous-espèces ou de formes dont l'isolement sexuel n'est que partiel, il serait difficile d'envisager l'adaptation au même modèle de la lutte pour la vie, car la présence d'hybrides modifie la modalité de la concurrence. Cette méthode de vérifier la spéciation du point de vue synécologique évolutif n'est nullement restreinte à la communauté monogénérique, mais bien applicable, en s'appuyant sur l'échantillonnage approprié, à d'autres catégories de communautés animales ou végétales qui s'ajustent au modèle de Motomura.

BIBLIOGRAPHIE

- BARONI-URBANI (C.), 1968 a. — La fauna mirmecologica delle isole Maltesi ed il suo significato ecologico e biogeografico — *Ann. Mus. Civ. Stor. Nat. Genova*, **77**, 408-559.
- BARONI-URBANI (C.), 1968 b. — Studi sulla mirmeco-fauna d'Italia. V. Aspetti ecologici della della Riviera del M. CONERO — *Boll. Zool.*, **35**, 39-76.
- BARONI-URBANI (C.), 1969. — Ant communities of the high-altitude Appenine grasslands — *Ecology*, **50**, 488-492.
- CANCELA DA FONSECA (J. P.), 1969. — L'outil statistique en biologie du sol. V. Indices de diversité spécifique. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **6**, 1-30.
- CHAUVIN (R.), 1968. — *Traité de Biologie de l'Abeille*, Tome 1, Masson et Cie, Paris, XVI + 547 p.
- DAGET (J.), LÉVÊQUE (C.), 1969. — Applications de la loi de Motomura aux Mollusques du Lac Tchad. *Cah. O.R.S.T.O.M., Série Hydrobiol.*, **3**, 81-85.
- GASPAR (Ch.), 1971. — Les Fourmis de la Famenne. II. Une étude zoosocologique. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **8**, 553-607.
- GASPAR (Ch.), 1972. — Les Fourmis de la Famenne. III. Une étude écologique. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **9**, 99-125.
- GÖSSWALD (K.), 1938. — Über den Einfluß von verschiedener Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Lebensäußerungen der Ameisen. I. Die Lebensdauer ökologisch verschiedener Ameisenarten unter dem Einfluß bestimmter Luftfeuchtigkeit und Temperatur. *Z. wiss. Zool., Leipzig*, **151**, 337-381.
- GÖSSWALD (K.), 1941. — Über den Einfluß von verschiedener Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Lebensäußerungen der Ameisen. II. Über den Feuchtigkeitssinn ökologisch verschiedener Ameisenarten und seine Beziehungen zu Biotop, Wohn- und Lebensweise. *Z. Wiss. Zool., Leipzig*, **154**, 247-344.
- HAYASIDA (K.), 1959. — Ecological distribution of Ants in Mt. Atsanupuri, an active volcano in Akan National Park, Hokkaidô. *J. Fac. Sci. Hokkaidô Univ. Ser. VI, Zool.*, **14**, 252-260.
- HAYASIDA (K.), 1960. — Studies on the ecological distribution of Ants in Sapporo and its vicinity. *Ins. Soc.*, **7**, 125-162.
- HAYASIDA (K.), 1963. — Quelques méthodes analytiques pour l'étude de la distribution écologique des Fourmis (en nippon). *J. Sapporo Otani Jun. Coll.*, **1**, 1-26.
- HAYASIDA (K.), 1964. — Studies on the ecological distribution of Ants in Kutchan and its adjacent aera. *J. Sapporo Otani Jun. Coll.*, **2**, 107-129.
- HAYASIDA (K.), MAEDA (S.), 1960. — Studies on the ecological distribution of Ants in Akkesi. *J. Fac. Sci. Hokkaidô Univ., Ser. VI, Zool.*, **14**, 305-319.
- INAGAKI (H.), 1965. — Recherches sur la loi d'allométrie chez *Ligia oceanica* (L.), Crustacé Isopode. *Publ. Inst. Statist. Univ. Paris, Suppl.*, **1**, 1-126.

- INAGAKI (H.), 1967. — Mise au point de la loi de Motomura et essai d'une écologie évolutive. *Vie et Milieu*, Série B, **18**, 153-166.
- INAGAKI (H.), 1971. — Interspezifische Allometrie bei Agrionidae Selys, 1840, und ihre evolutive Bedeutung (en nippon). *Doobutugaku Zassi*, Tôkyô **80**, 45-51.
- KLIMETZEK (D.), 1972. — Veränderungen in einem natürlichen Vorkommen hügelbauender Waldameisen der *Formica rufa*-Gruppe (Hymenoptera : Formicidae) im Verlauf von drei Jahren. *Ins. Soc. Paris*, **19**, 1-5.
- LECAL (J.), 1964. — Richesse en Microplankton estival des eaux méditerranéennes de Port-Vendre à Oran. *Vie et Milieu*, Suppl. 3, 13-95.
- LENOIR (A.), 1971. — Les Fourmis de Touraine, leur intérêt biogéographique. *Cah. Naturalistes*, Paris, **27**, 21-30.
- LÉVIEUX (J.), 1972. — Mise en évidence de la structure des nids et de l'implantation des zones de chasse de deux espèces de *Camponotus* (Hym. Form.) à l'aide de radio-isotope. *Ins. Soc. Paris*, **18**, 29-48.
- MOTOMURA (I.), 1932. — Etude statistique des populations écologiques (en nippon). *Doobutugaku Zassi*, Tôkyô, **44**, 379-383.
- MOTOMURA (I.), 1935. — Populations d'*Ostrea spinosa* (en nippon). *Seitaigaku Kenkuu*, Tôkyô, **1**, 55-62.
- MOTOMURA (I.), 1947. — Further notes on the law of geometrical progression of the population density in animal association (en nippon). *Seiri Seitai*, Tôkyô, **1**, 55-60.
- PICKLES (W.), 1940. — Fluctuations in the populations, weight and biomasses of Ants at Thornhill, Yorkshire, from 1935 to 1939. *Transactions Royal Entomol. Soc.*, London, **90**, 467-485.
- PONTIN (A. J.), 1960. — Field experiments on colony foundation by *Lasius niger* (L.) and *Lasius flavus* (F.). *Ins. Soc.*, Paris, **7**, 227-230.
- REEVE (E. C. R.), 1940. — Relative growth in the snout of anteaters. A study in the application of quantitative methods to systematics. *Proc. Zool. Soc. London*, Ser. A, **110**, 47-80.
- WHITTAKER (R. H.), 1965. — Dominance and diversity in land plant community. *Science*, Washington, **147**, 250-260.
- WILSON (E. O.), 1971. — The Insect Societies. *Belknap Press Harvard Univ.*, X + 548 p.

COMPLÉMENTS A L'ÉTUDE DE GROUPEMENTS SYLVATIQUES SUBMONTAGNARDS EN BOURGOGNE CALCAIRE : PREMIÈRES DONNÉES MICROCLIMATIQUES ET PÉDOLOGIQUES

par François BUGNON (*), André BRUNAUD (*), Jean CHRETIEN (**)
et Pierre VERMI (***)

L'individualité et les traits caractéristiques de trois groupements sylvatiques à affinités submontagnardes, localisés en certaines stations « froides » des combes des plateaux bourguignons ont été récemment précisées (RAMEAU et al., 1971) ou sont l'objet de publications en cours (BUGNON et RAMEAU, 1973). Il s'agit de la hêtraie à Dentaire (*Dentario heptaphyllo-Fagetum* Moor 52), de la frênaie-tiliaie-érablaie à Scolopendre (*Phyllitido-Aceretum tilietosum* Moor 52) et de la chênaie pédonculée à Aconit (*Aconito vulpinae-Quercetum pedunculatae* Bugnon et Rameau, 73), qui occupent respectivement les ubacs sur cailloutis assez fins, sur éboulis grossiers et le talweg des combes.

Les indications écologiques correspondantes sont extrêmement peu nombreuses en Bourgogne : quelques données fragmentaires sur l'atmosphère et le sol des éboulis à Scolopendre ou les fonds de combe (HAGENE, 1931), quelques précisions pédologiques (BENOIT-JANIN, 1965, 1970) provenant surtout du nord de notre région.

Nous présenterons ici les premières données rassemblées sur les conditions climatiques et édaphiques

régnant dans les forêts froides des combes de la région dijonnaise (1).

La combe Lavaux, à Gevrey-Chambertin, a été choisie comme site d'étude, à cause de sa grande facilité d'accès, bien que les groupements forestiers submontagnards y soient éventuellement moins typiques qu'au nord de Dijon en particulier. La figure 1 précise l'emplacement des points d'observation : 1 - (témoin) : chênaie-charmaie de plateau, en très légère pente nord, alt. 462 m. 2 - hêtraie à Dentaire, faciès à Buis, en bas de pente à exposition nord, au Parc Mathey, alt. 350 m. 3 - frênaie-tiliaie-érablaie à Scolopendre, à l'ubac près du bout-du-monde, alt. 415 m. 4 - chênaie pédonculée à Aconit, faciès à Frêne, dans le talweg à 100 m en amont du parc Mathey, alt. 345 m.

(1) M. l'Ingénieur LENOIR, Directeur de la Station Météorologique de Dijon-Longvic, et M. le Professeur PAGNEY, Directeur de l'Institut de Climatologie de l'Université de Dijon nous ont fait part d'utiles suggestions lors de la discussion des données obtenues. Nous les remercions très vivement. M. LENOIR a en outre mis très aimablement à notre disposition les documents de la Station Météorologique. Enfin, M^{me} ALABOUVETTE, Biologiste au C.N.R.S., nous a fréquemment aidés pour les relevés hebdomadaires de température.

(*) Laboratoire de Botanique et Ecologie, Faculté des Sciences de la Vie et de l'Environnement, 6, bd Gabriel, 21000 Dijon

(**) Station Agronomique de l'Yonne, Allée Turenne, 89000 Auxerre.

(***) Station d'Agronomie, INRA, 7, rue Sully, 21000 Dijon



FIG. 1

I. — VARIATION DES TEMPÉRATURES MAXIMALES ET MINIMALES AU COURS D'UNE ANNÉE

Des thermomètres mini-maxi ont été disposés sur des troncs d'arbres, à 1 m du sol, en exposition nord, hors de l'insolation directe et de la pluie, dans chacune des localités 1, 3 et 4. Les lectures ont été effectuées à intervalles aussi réguliers que possible, de l'ordre d'une semaine, de septembre 1971 à août 1972; les valeurs indiquées correspondent donc aux minima et maxima de la période d'environ 7 jours précédant le moment de lecture.

A. — A titre indicatif, les valeurs relevées dans la localité témoin du plateau sont comparées (fig. 2) aux valeurs obtenues à la Station Météorologique de Dijon-Longvic et correspondant aux mêmes périodes. L'interprétation doit évidemment tenir compte des différences très importantes dans les caractéristiques stationnelles des lieux de mesure et dans les conditions techniques de ces mesures. Il sera prudent de

ne pas tenir compte de différences inférieures à 1° C, à cause de la qualité très imparfaite des appareils utilisés sur le terrain. Par ailleurs, il est précisé que le fait d'avoir joint en une ligne continue les valeurs maxima ou minima hebdomadaires, sur les figures, n'a qu'un intérêt : la commodité de présentation.

Ces précautions étant prises, il apparaît que la fluctuation annuelle des maxima et minima a été semblable sur le plateau à celle notée à Longvic, c'est-à-dire qu'elle traduit au premier chef la variation à l'échelle du macroclimat régional : variations parallèles et simultanées, à quelques exceptions près, notamment estuives et qui pourraient tenir en partie à l'instabilité climatique de l'été 1972.

Un deuxième fait est que, à 1 m du sol, sous couvert forestier, hors abri et à une altitude supérieure d'environ 255 m, les maxima et minima relevés sont tous deux régulièrement inférieurs par rapport à ceux de la Station Météorologique (moyenne des différences par saison, de l'automne à l'été : maxi = —3, —2, —2, —6; mini = 0, —1,5, —1,9, —4). Ce décalage traduit à la fois des différences d'ordre

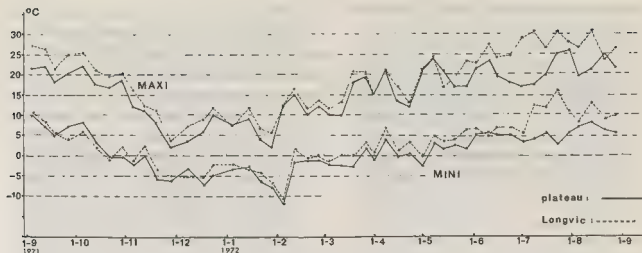


FIG 2

mésoclimatique (altitude) et microclimatique (couvert forestier, lequel prend beaucoup plus d'importance en été), de même qu'il témoigne des différences dans les techniques de mesure, qu'il est difficile de séparer des premières. La seule exception notable aux valeurs minimales plus basses sur le plateau a été observée surtout au début de l'automne 1971 et ceci pourrait

tenir d'une particularité d'hétérogénéité macroclimatique temporaire du plateau par rapport à la plaine (inversion thermique).

B. — La figure 3 met en relief les différences entre les températures maximales et minimales relevées dans les deux stations froides d'ubac (frênaie à Scolio-

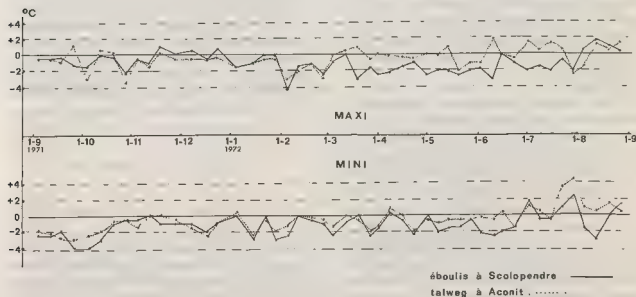


FIG. 3

pendre) ou de talweg (chênaie-frênaie à Aconit), d'une part, et la chênaie-charmaie de plateau, d'autre part, celle-ci prise comme élément de référence.

1) Comme on pouvait normalement s'y attendre, il y a d'abord une tendance générale à des valeurs plus faibles dans la combe, aussi bien pour les maxima que pour les minima, à l'exception des valeurs estivales dans le talweg, particularité sur laquelle nous reviendrons plus loin. Ceci justifie donc l'expression de « stations froides » attribuée aux emplacements où prospèrent les groupements forestiers submontagnards considérés. Les différences moyennes sont les suivantes, par saison :

		A	H	P	E
Maxima	éboulis à Scolopendre	- 0,5	- 1,3	- 1,8	- 0,5
	talweg à Aconit	- 0,7	- 0,9	- 0,2	+ 0,2
Minima	éboulis à Scolopendre	- 1,6	- 1,2	- 1,4	- 0,6
	talweg à Aconit	- 1,3	0,8	0,6	+ 0,3

Ces valeurs moyennes montrent que l'écart entre groupement témoin et groupements froids n'est pas considérable. Mais en se reportant aux valeurs réelles et non aux moyennes, on constate que les différences sont comprises entre 0 et 4 °, ce qui n'est pas négligeable pour des localités aussi proches les unes des autres et se traduit en particulier par des gelées plus fréquentes dans la combe que sur le plateau, en saison intermédiaire.

2) Une deuxième caractéristique générale est la succession assez régulière de périodes où les températures maxima et minima des stations froides tendent à s'abaisser par rapport à celle du plateau, et de périodes où elles tendent à devenir égales. Ceci est spécialement net de l'automne au printemps.

En comparant alors les figures 2 et 3, on note que c'est lorsque les maxima et minima du plateau tendent à s'élever que l'écart se creuse davantage, et lorsqu'ils diminuent que l'écart se trouve réduit. Le phénomène s'estompe en été lors de la phénophase feuillée. De même, il n'apparaît plus guère pour les minima en plein hiver.

Ainsi, les variations thermiques ne suivent pas simplement les variations au niveau du plateau, avec un décalage plus ou moins constant ou une amplitude régulièrement plus faible. Tout se passe comme si, sous couvert forestier, les stations froides des combes avaient une atmosphère protégée seulement de l'élévation des températures.

3) Il est plus intéressant de noter qu'en belle saison des différences sensibles apparaissent entre les caractéristiques thermiques de la frênaie à Scolopendre et de la chênaie à Aconit, alors qu'au contraire il y a peu de différences de l'automne au début du printemps. Si les maxima et minima des éboulis d'ubac ne sont qu'exceptionnellement supérieurs à ceux du plateau, ceux du talweg au contraire le sont fréquemment. Il est possible que cela corresponde à un phénomène de cuvette, mais une conclusion ne saurait être tirée des seules données actuellement rassemblées. L'effet de cuvette pourrait d'ailleurs se trouver accentué ici par l'existence d'un chemin de talweg assez large, qui accroît l'insolation à quelques mètres du lieu de mesure.

D'une certaine façon, le talweg apparaîtrait ainsi comme bénéficiant de caractéristiques thermiques plus montagnardes continentales que sur le plateau, par les maxima et minima d'hiver plus faibles, les maxima et minima d'été plus élevés. Les éboulis d'ubac sont caractérisés par un autre type de climat, avec maxima et minima constamment moins élevés que sur le plateau. Ceci ne peut que s'ajouter aux différences édaphiques pour expliquer la localisation différentielle des espèces des deux groupements forestiers.

II. — ANALYSE PÉDOLOGIQUE

A. — *Hêtraie froide* (point d'observation 2, fig. 1).

1) *Le profil choisi* est presque au bas d'une pente forte à exposition nord, et la roche-mère est constituée ici par une accumulation de grouine (graviers calcaires de solifluxion quaternaire) reposant sur calcaire bathonien. La hêtraie ne se présente pas ici

sous sa forme typique, à *Dentaria heptaphylla*, à cause de la dominance du Buis en strate arbustive.

2) *Le sol* est une rendzine de couleur noire.

Surface : lit de cailloux blanchis, à litière légère non continue.

A¹ 0-35 cm : couleur noire (10 yR 2/1). Texture limono-argilo-sableuse. Structure grumeleuse fine. Horizon humide, onctueux au toucher. Excellente porosité. Environ 60 % de cailloux calcaires. Terre fine très calcaire et très organique. Enracinement très abondant, avec racines grosses et moyennes de direction subhorizontale. Transition très progressive avec l'horizon sous-jacent.

A¹C 35-60 cm : couleur décroissant avec la profondeur, de 10 yR 3/2 à 10 yR 3/3. Matériau fin moins abondant entre les éléments grossiers. Texture limono-argileuse. Horizon très calcaire. Structure passant de grumeleuse à polyédrique très fine. La matière organique décroît avec la profondeur. Horizon très aéré.

C à partir de 60 cm : grouine, avec éboulis de plus en plus tassé, très calcaire. Pseudomycélium calcaire très abondant. Encore quelques racines.

3) Tableau d'analyse.

Prof.	Hor.	Elém gros %		Granulométrie %						MO %	CaCO ₃ %		C %	N %	C/N	pH
		cail	Grav	SG	SF	LG	LF	A			Tot.	Act.				
0 - 30	A ₁	64,6	27,8	26,5	12,5	18,5	20,5	22		30,5	39,1	9,5	11,6	1,52	11,55	
35 - 60	A ₁ C	38,9	49							8	91,6	12,9	3,4	0,4	8,5	7,7

4) *Commentaire*. Sol maintenu à l'état jeune par le colluvionnement, cette rendzine abondamment calcaire est caractérisée par sa profondeur qui lui confère de bonnes réserves en eau, par la profondeur d'incorporation de la matière organique et, surtout, par le taux extrêmement élevé de matière organique : classée dans la catégorie des rendzines très humifères, elle n'est pas sans évoquer les sols humo-calcaires des régions de montagne. Il serait intéressant de comparer le profil obtenu à ceux des sols de hêtraie sur grouine qu'on trouve çà et là en étage montagnard inférieur dans le Jura. En tout cas, ce caractère pédologique est parfaitement conforme au type de peuplement végétal et aux caractéristiques micro-climatiques, certainement très proches de celles constatées dans les éboulis d'ubac à *Scolopendre*.

B. — *Frêne-tillaie-érablaie* à *Scolopendre* (point d'observation 3, fig. 1).

1) *L'analyse de sol* a été effectuée vers les 2/3

supérieurs de l'éboulis grossier et en pente forte qui précède à l'ubac le bout-du-monde. L'environnement géomorphologique et géologique est constitué, au pied des petits escarpements rocheux bathoniens, par une accumulation de blocs calcaires issus de l'effondrement des parois bathonienne et calloviennne. Sous la couverture arborescente de Frênes et Tilleuls, la strate herbacée comprend quelques pieds de *Scolopendre* et de *Dentaria heptaphylla*; il y a une importante strate muscinale.

2) *Description du profil*. Sol en compartiments de quelques cm d'épaisseur remplissant les vides laissés entre les blocs de toutes tailles. Couleur brun sombre (7,5 yR 4/2). Texture argilo-limoneuse. Structure polyédrique fine. Pas d'effervescence à HCl. Nombreux cailloux calcaires non altérés. La profondeur atteinte entre les gros blocs peut être assez importante.

3) Tableau d'analyse.

Prof.	Elém. gros.		Granulométrie %						MO %	CaCO ₃ %		C %	N %	C/N
	cail.	grav.	SG	SF	LG	LF	A			Tot	Act.			
0 - 10	67,9	4,5	4,5	4,5	26	32	33	22		3,5		12,8	1,1	11,6

4) *Commentaire*. Il s'agit d'un sol qui, par ses caractères, en particulier la granulométrie, l'absence de calcaire actif, est tout à fait semblable aux sols bruns du plateau callovien directement superposé. Nous sommes donc ici en présence d'un maillon dans une chaîne de sols liée à un profil de combe et venant immédiatement après le sol brun calcique qui est à l'origine de la chaîne. Le fort pourcentage de cailloux correspond à la situation sur éboulis.

Mais la particularité la plus remarquable est ici encore le taux élevé de matière organique, qui n'atteint toutefois pas la valeur observée dans la rendzine sous hêtraie. Les conditions microclimatiques froides sont sans doute à l'origine de cette richesse en matière organique. Le profil s'intégrerait bien dans le groupe des sols humifères lithocalciques (classification CPCs) formés sous climat humide et frais, mieux que dans le groupe des sols bruns squelettiques.

Il est possible que le profil examiné corresponde à des zones d'arrivée importante de matériel en provenance du plateau, et que, ailleurs, le type de sol soit beaucoup plus proche de celui observé sous hêtraie, notamment en ce qui concerne le taux de matière organique.

C. — *Chênaie pédonculée - frênaie à Aconit* (point d'observation 4, fig. 1).

1) Fond de combe sèche, avec colluvions calcaires

Prof.	Elém. gros. %		Granulométrie %					MO %	CaCO ₃ %		C %	N %	C/N	CE
	caill.	grav.	SG	SF	LG	LF	A		Tot	Act				
0 - 15	20,8	50,6	31	11,5	17,5	18	22	8,4	43,5	5,5	4,8	0,43	11	20,5
15 - 35	15,9	10,8	37,5	10	15	16	21,5		53	4,5				13,5
35 - 50	19,2	63,9	27	7,5	18,5	20	27		32,9	4				20
50 - 80	19,9	59	15,5	7	20,5	26	31		28,6	4,5				20,8

4) *Commentaire*. Le talweg de la combe Lavaux est loin d'être uniformément occupé par la chénaie pédonculée - frênaie à Aconit, de telle sorte que le profil décrit ne représente pas nécessairement le plus typique de ceux qui correspondent au groupement considéré. Le sol est peu évolué, colluvial calcaire,

grossières servant de support à une forêt qui est ici à base de Frênes, dominant une strate arbustive à base de Noisetier et une strate herbacée luxuriante à *Aconitum vulparia*, *Leucolum vernum*, *Allium ursinum*, etc. Par places, les strates arbustive et herbacée sont complètement modifiées par la présence du Buis.

2) *Profil du sol*.

A¹¹ 0-15 cm : couleur brun noir (10 yR 3/2). Texture limono-argileuse. Structure polyédrique fine. Horizon frais et friable. Très calcaire. Chevelu racinaire dense. Débris organiques abondants. Environ 60 % de cailloux et graviers calcaires peu altérés.

A¹² 15-35 cm : couleur brun sombre (10 yR 3/4). Texture limono-argileuse. Structure polyédrique très fine. Très nombreux éléments grossiers calcaires. Horizon frais et meubles. Toujours très calcaire. Nombreuses racines de toutes tailles. Présence de gros vers de terre.

AC à partir de 35 cm : couleur brune (10 yR 4/3). Texture limono-argileuse à argilo-limoneuse. Structure polyédrique encore assez fine. Toujours très calcaire. Pas de différenciation d'horizon jusque vers 80 cm; au-delà, les éléments grossiers deviennent de plus en plus abondants.

3) *Tableau d'analyse*.

alors qu'ailleurs il est du type brun calcaire, comme par exemple dans les fonds de vallée secs du plateau de Haje (GURY, 1972), à couverture sylvatique très semblable. Néanmoins il possède quelques traits fondamentaux comme la profondeur importante, une bonne réserve en eau, un profil très aéré, un taux

moyen de matière organique montrant bien l'activité intense de minéralisation par la microflore. C'est certainement ce dernier caractère qui oppose le plus les sols de la hêtraie à Dentaire et de la frênaie à Aconit, pourtant extrêmement voisins topographiquement l'un de l'autre. Les différences microclimatiques entre les deux stations doivent à cet égard jouer un rôle important dans les pédogénèses différentielles.

III. — CONCLUSIONS

Il y a une bonne concordance entre les données microclimatiques et pédologiques des stations « froides » dans lesquelles prospèrent les groupements sylvatiques submontagnards de Bourgogne. Cette étude préliminaire met en évidence quelques faits intéressants sur le plan de l'écologie régionale. En particulier, 1° dans la mesure où l'étude des températures maximales et minimales au cours d'une seule année permet de se faire une idée approximative des conditions microclimatiques, il apparaît que les contrastes thermiques sont plus accusés dans la chênaie-frênaie à Aconit de talweg que dans la frênaie-tiliaie-érablaie sur éboulis, ce qui crée deux microclimats submontagnards différents dans les combes des plateaux calcaires. 2° l'existence à basse altitude de types de sols à caractère submontagnard accusé, inconnue jusqu'alors en Bourgogne, fournit un nouvel exemple de parallélisme entre le sol et la végétation.

Il reste à savoir si ces résultats ont une signification générale en Bourgogne et si, par exemple, en étudiant d'autres stations pour les groupements submontagnards on retrouvera les mêmes caractéristiques écologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENOIT-JANIN (P.), 1965. — Esquisse pédologique de l'Arrière-Côte de Bourgogne. SAFTE, Chaumont, 29 p., (ronéot.).
- BENOIT-JANIN (P.) 1970. — Etude pédologique du Plateau Langrois-Montagne. SAFTE, Chaumont, 56 p.
- BUGNON (F.), RAMEAU (J.-C.), 1973. — *L'Aconito vulpariae* - *Quercetum pedunculatae*, association sylvatique des fonds de combe dans les plateaux jurassiques du Sud-est du Bassin parisien et de la Bourgogne. *Bull. sc. Bourgogne*, 29 (à paraître).
- GURY (M.), 1972. — Carte pédologique du Plateau de Haye. Notice explicative. CNRS (document ronéotypé).
- HAGENE (Ph.), 1931. — Recherches écologiques sur quelques groupements végétaux des environs de Dijon. *Rev. gén. Bot.*, 43, 1-204.
- RAMEAU (J.-C.), ROYER (J. M.), BUGNON (F.) et BRUNAUD (A.), 1971. — Etude de quelques groupements forestiers submontagnards dans le sud-est du Bassin parisien et la Bourgogne. *Bull. sc. Bourgogne*, 28, 33-63.

RECHERCHES SUR LA PRÉSENCE DE RÉACTIONS ANTAGONISTES ENTRE *RHIZOBIUM* ET ACTINOMYCÈTES

par J. LAJUDIE (1)

RÉSUMÉ

La présence de réactions antagonistes entre les Rhizobium et les Actinomycètes a été mise en évidence, in vitro, entre les deux types de microorganismes et dans un deuxième système en incluant en plus la plante.

Dans la nature, les *Rhizobium* comme tous les organismes vivants sont soumis soit à des actions stimulantes, soit à des actions antagonistes. Ce sont ces dernières qui ont retenu notre attention. En dehors des végétaux dont certains peuvent être inhibiteurs, de nombreux microorganismes se multiplient dans le sol. Des travaux ont été consacrés à l'étude de bactéries, de *Streptomyces*, de champignons ainsi que de certains bactériophages qui se sont révélés anti-*Rhizobium*. Nos connaissances sont insuffisantes pour savoir si de tels antagonismes ont une signification en agriculture. Le sol est un milieu complexe où les caractères physiques, physico chimiques et biochimiques ont un rôle. Il serait pourtant intéressant de mieux connaître ces réactions d'inhibition surtout au point de vue dynamique.

Nous nous proposons d'étudier *in vitro* les interactions d'antagonisme qui existent entre diverses espèces de *Rhizobium* et des souches d'Actinomycètes isolées pour la plupart de la rhizosphère de la luzerne.

SUMMARY

Antagonistic interactions have been demonstrated, in vitro, between Rhizobium and Actinomycetes. They seem to occur also in presence of plants.

La présence de microorganismes antagonistes des *Rhizobium* a été invoquée par plusieurs auteurs pour expliquer des cas de nodulation déficiente chez les Légumineuses (HELY, BERGERSEN, BROCKWELL, 1957). De même, VIERINGA (1962) a isolé, des sols des Appenins, des bactéries et des actinomycètes antagonistes des *Rhizobium* et constaté que la nodulation des plantules de trèfle ou de haricot pouvait être empêchée. L'étude des microorganismes de la rhizosphère du trèfle et de la luzerne (VISONA et TARDIEUX, 1964) permet aussi de constater que des bactéries et des Actinomycètes inhibent la croissance de souches autochtones.

Nous avons donc essayé de démontrer *in vitro* l'existence de relations antagonistes entre diverses espèces de *Rhizobium* de luzerne (*Rhizobium meliloti*) et certaines souches d'Actinomycètes isolées de la rhizosphère de luzerne. Deux systèmes ont été envisagés : le premier à base des deux types de microorganismes en cause, le deuxième incluant en plus la plante.

(1) Service de Lutte biologique contre les Insectes. Institut Pasteur, Paris.

Les souches de *Rhizobium meliloti* proviennent de la Collection du Laboratoire de Microbiologie du Sol de l'Institut Pasteur. Elles sont au nombre de 9 :

- Sa 11 provenant de Versailles
- 17 } Souches du Laboratoire de Microbio-
- 20 } logie du Sol
- 22 }
- 126 Madison U.S.A. 1960
- 1-30 Gembloux Belgique 1961
- 1-32 » » »
- 1-33 » » »
- Sn 258 Rothamsted Angleterre 1961.

Les Actinomycètes ont été isolés d'un champ de culture de luzerne à partir de plants d'apparence malade et de plants d'apparence saine, par ensemencement sur des milieux sélectifs, avec des suspensions préparées en broyant les racines. Une centaine de souches ont pu ainsi être isolées, la majorité appartenant au genre *Streptomyces* (2).

Quelques gouttes d'une suspension de *Rhizobium* obtenue à partir d'une culture sur gélose de 24 à 48 heures sont ajoutées à un petit tube de gélose molle maintenu à 45 °C. Après agitation, cette gélose est coulée en nappe à la surface d'une boîte de Pétri contenant de la gélose nutritive. Quand la gélose molle est solidifiée, on dépose en différents points (quatre en général) un fragment d'une culture d'Acti-

nomycètes (culture d'une dizaine de jours sur gélose pomme de terre). Les boîtes sont placées à 28 °C et les résultats lus généralement après 5 à 7 jours.

Dans certains cas, des auréoles transparentes sont visibles autour des Actinomycètes indiquant l'inhibition de croissance des *Rhizobium*. Ces auréoles sont plus ou moins larges (de quelques millimètres à 15 millimètres) et plus ou moins claires. Quelquefois, certains germes, peu nombreux, y cultivent; ce sont des résistants.

Par contre, on peut observer autour de certains Actinomycètes une zone de croissance plus importante des *Rhizobium*. Dans ce cas, on se trouve en présence d'une synergie : la croissance des *Rhizobium* est favorisée au lieu d'être inhibée.

L'ensemble des résultats obtenus montre que de nombreux Actinomycètes, isolés de plants sains autant que de plants d'apparence malade, sont capables d'inhiber la croissance de certains *Rhizobium meliloti*. Des souches de *Rhizobium* apparaissent plus résistantes, comme, par exemple, la souche n° 20 de *Rhizobium meliloti*.

Un tableau nous permettra de résumer les antagonismes entre les souches de *Rhizobium* (Sa 11, 17, 20, etc.) et les Actinomycètes dont l'identification a montré qu'ils appartiennent pour la plus grande partie au genre des *Streptomyces* :

Sa 11	17	20	22	106	1 - 32	1 - 30	1 33	Sn 258									
+	7	+	12	+	6	+	20	+	13	+	11	+	15	+	12	+	11
++	13	++	18	++	2	++	10	++	6	++	2	++	0	++	12	++	7
+++	6	+++	6	+++	4	+++	4	+++	1	+++	2	+++	3	+++	1	+++	1
++++	2	++++	2	++++	0	++++	0	++++	1	++++	0	++++	0	++++	0	++++	0
€	9	€	7	€	6	€	12	€	2	€	5	€	13	€	16		

Légende : La largeur des zones d'inhibition est indiquée par des croix

+ de 1 à 5 mm

++ de 5 à 10 mm

+++ de 10 à 15 mm

++++ de 15 à 20 mm ou plus.

€ zone plus ou moins opaque ou d'intensités différentes

(2) Les souches d'Actinomycètes ont été identifiées par M^{me} KRUSSELOU et M. FAIVRE-AMOT (Laboratoire du C.N.R.A., Versailles).

Les chiffres donnent le nombre de souches d'Actinomycètes actifs. Ceci nous permet de constater que les *Rhizobium* les plus résistants seraient les souches

20, 1-32, 1-30 ... par rapport aux Actinomycètes isolés.

Il nous a semblé intéressant de voir si, dans le cas des nombreuses réactions antagonistes observées au niveau des microorganismes étudiés, le phénomène se traduisait au niveau de la plante. Dans l'affirmative, ceci apparaîtrait comme une vérification supplémentaire du pouvoir antagoniste des Actinomycètes vis-à-vis des *Rhizobium*, avec l'implication de ses conséquences sur les Légumineuses.

Pour ce faire, nous avons cultivé des graines de luzerne en présence ou non des souches étudiées. Les graines stérilisées en surface par l'eau de Javel diluée, rincées à l'eau distillée stérile, sont transférées stérilement en tubes de milieu gélosé de Jensen (1949), à raison d'une graine par tube. Les graines sont ensuite inoculées à l'aide d'une ou deux gouttes de suspension de germes tests. Pour chaque essai, nous avons préparé 4 tubes contenant chacun une graine de luzerne.

- 1) seule
- 2) inoculée par la souche de *Rhizobium* étudiée
- 3) inoculée par la souche d'Actinomycète
- 4) inoculée par la souche de *Rhizobium* et la souche d'Actinomycète.

Tous les essais ont été répétés 4 fois. Les tubes sont incubés à la lumière et à la température du laboratoire. Dans la plupart des cas, nous avons procédé à ces essais avec des souches révélées fortement antagonistes par les résultats d'étude du premier système décrit. Ce deuxième système a corroboré en

partie les résultats du premier; de plus, il a souvent montré une toxicité propre de l'Actinomycète sur la Légumineuse.

Bien qu'on ne puisse extrapoler ces résultats à ce qui se passe effectivement dans la nature étant donné l'extrême variabilité des conditions ambiantes, en particulier en raison des nombreuses interférences entre microorganismes, on peut penser que de tels phénomènes se manifestent dans certains cas. L'intérêt de ce travail est d'en avoir montré la possibilité.

Le fait qu'il existe bien des antagonismes entre *Rhizobium* et Actinomycètes ne doit pas toutefois faire oublier que les interactions Actinomycètes-*Rhizobium* sont complexes et se manifestent dans les deux sens. En effet, il arrive de trouver dans le rhizoplan de plantes vigoureuses et bien nodulées, un pourcentage d'Actinomycètes supérieur à celui rencontré dans le rhizoplan de plantes chétives et mal nodulées.

REFERENCES

- HELY (F. W.), BERGERSEN (F. J.) & BROCKWELL (J.), 1957. — *Austr. J. Agr. Res.*
JENSEN (H. L.), 1942. — *Aust. Proc. Linn. Soc., NSW*, 66, 98-108.
VIERINGA (K. T.), 1963. — *Ann. Inst. Pasteur*, 105, 417.
VISONA (L.) & TARDIEUX (P.), 1964. — *Ann. Inst. Pasteur*, 107, 297-302.
VAN SCHREVEN (D. A.), 1964. — *Pl. Soil*, 21, 283-302.

ACTION DU FROID ET DE LA SALINITÉ SUR LE MÉTABOLISME MINÉRAL ET SODIQUE DES HIBERNACLES DE *GLAUX MARITIMA* L.

par Michel GRANDIN

Laboratoire de Physiologie Végétale. Equipe de Recherche Associée au C.N.R.S. n° 405.
Université de Caen.

Glaux maritima est une halophyte facultative que l'on trouve en abondance dans certaines dépressions sablo-vaseuses de la côte normande entre Courseulles et Arromanches. La salinité moyenne de l'eau de submersion de la station de récolte est de 4,1 g/litre de NaCl.

L'importance du froid et de la salinité dans le comportement de *Glaux maritima* a déjà été soulignée à propos d'observations phytogéographiques et d'essais de culture.

— *Glaux maritima* se trouve dans les régions tempérées et arctiques de l'hémisphère Nord, dans des stations de salinités qualitativement et quantitativement très diverses (HEGL, 1926; MONTFORT et BRANDRUP, 1927; CHAPMAN, 1960-64; BINET, 1965).

— les semences ne germent que si elles subissent des températures alternativement basses et élevées (BINET, 1965), le développement ultérieur des plantes étant fortement fonction des conditions sous lesquelles la germination a eu lieu (BINET, 1967).

— la dormance des hibernacles peut être levée par le froid, les fortes températures ou les fortes salinités, mais seul le froid permet d'obtenir ultérieurement des plantes capables de s'adapter à des milieux très salés susceptibles de fleurir, même si cette floraison est retardée par les concentrations salines (GRANDIN, 1968, 1969, 1971).

— la formation des hibernacles est inhibée par les fortes salinités et par le froid (GRANDIN, 1969).

— le froid prolongé, ou les fortes salinités inhibent la formation d'amidon dans les racines tubérisées des hibernacles (GRANDIN, 1973).

Bien que les relations entre métabolisme glucidique et salinité soient encore très mal connues (par exemple LESAGE (1891) pense que NaCl empêche la formation d'amidon, mais NOEL-JORAND (1968) observe de l'amidon chez *Salicornia stricta* sur milieu très salé jamais immergé, et BINET (1970-71) constate qu'en milieu salé, *Cochlearia anglica* accumule des quantités importantes d'amidon dans ses racines et que l'*Aster tripolium* peut en faire autant dans ses feuilles), on peut penser que si le froid et les fortes salinités ont une action comparable sur les glucides c'est qu'ils amoindrissent les possibilités de régulation saline que présente le *Glaux maritima* grâce à ses glandes foliaires (CHAPMAN, 1964; VANDEN BERGHEN, 1964) et créent ainsi un milieu cellulaire riche en sel, inhibiteur de l'amylogénèse.

Le travail présenté ci-dessous a été réalisé dans le but de tester l'action du sel et du froid sur les teneurs en matières minérales et en Na des tissus des hibernacles de *Glaux maritima* — L'influence de ces facteurs a été analysée soit sur des hibernacles en cours de formation c'est-à-dire encore reliés d'une manière fonctionnelle à la plante qui leur a donné naissance, soit sur des hibernacles ayant acquis leur individualité par disparition des stolons les reliant à la plante mère.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1) *Matériel analysé.*

Il comprend :

a) le sol de la station de récolte dont les premiers centimètres ont été prélevés mensuellement au cours de l'année;

b) l'eau qui submerge fréquemment la station;

c) des hibernacles récoltés dans cette station pendant leur période de dormance (septembre à décembre);

d) des hibernacles obtenus au laboratoire à partir de graines prélevées dans la nature et mises à germer sur papier filtre humide à des températures alternées (12 h à 5° - 12 h à 25°) (technique BINET, 1965).

Les plantules sont ensuite repiquées sur sable siliceux grossier percolé par les milieux nutritifs déjà utilisés par ailleurs (GRANDIN, 1968) à savoir :

— pour l'essai A :

milieu SN₁ = solution de la PURDUE UNIVERSITY (CHOUARD, 1951);

milieu SN₂ = solution selon SMITH et WIEDMAN sans T.R.I.S. (*);

milieu SN₃ = solution selon SMITH et WIEDMAN avec T.R.I.S. (SMITH et WIEDMAN, 1964) additionnés de 0, 2, 5 ou 7,5 g/l de NaCl. Les plantes qui se développent sur ces différents milieux reçoivent un éclairage de 3 000 lux 18 h sur 24 et sont maintenues à des températures comprises entre 22 et 28°, sauf une partie qui est soumise au froid (4 °C) avec les mêmes conditions d'éclairage, pendant le 4^e mois de culture, au moment de la formation des hibernacles. Tous les hibernacles sont récoltés huit mois après le repiquage et analysés;

— pour l'essai B :

seul le milieu SN₂ est utilisé avec des teneurs en NaCl de 0-10-15 et 25 g/l. Toutes les plantes sont

maintenues dans les conditions d'éclairage et de température identique à celles de l'essai A, jusqu'à individualisation des hibernacles (fin du 7^e mois de culture). Trois lots sont alors définis. L'un d'eux est placé immédiatement au froid (4 °C) pendant 2 mois (210 au 270^e jour après le repiquage) puis récolté. Un autre subit un mois de froid entre les 225 et le 255^e jour après le repiquage puis analysé. Le 3^e lot reste toujours au chaud jusqu'à la fin du 8^e mois de culture.

2) *Techniques d'analyses*a) *sur le sol et les eaux de submersion*

Le sol séché à 105° est épuisé à l'eau distillée bouillante. Cl est dosé dans les liquides d'épuisement après centrifugation, et dans les eaux de submersion, par la méthode de VOLHARD. Les résultats sont exprimés en g de NaCl par kg de sol ou par litre d'eau de submersion (tableau I).

TABLEAU I

Eau, matière minérale (M.M) et Na, chez des hibernacles récoltés dans la nature pendant leur période de dormance. P.F = poids de matière végétale fraîche; P.S = poids de matière végétale sèche).

Mois	eau % P.F.	M.M % P.S.	Na % P.S.	Na % M.M.
Sept.	71,3	2,48	0,17	6,70
Oct.	75,2	2,65	0,23	8,49
Nov.	73,9	2,78	0,23	8,26
Déc.	73,4	2,66	0,33	12,35

b) *sur les hibernacles*

Les hibernacles entiers sont minéralisés dans un four à moufle, à 550 °C. Après pesée de la matière minérale, celle-ci est épuisée à l'eau chaude. Na est dosé dans la liqueur obtenue par photométrie de flamme et rapporté à 100 g de matière végétale sèche ou 100 g de matière minérale.

* T.R.I.S. hydroxyméthyl-amino-méthane.

MÉTABOLISME MINÉRAL ET SODIQUE
DES HIBERNACLES DANS LA NATURE

Les graines de *Glaux* germent au cours des mois de mars et avril. Au mois de juin, les plantes feuillées sont soit végétatives (si elles sont issues de graines), soit fleuries (si elles sont issues d'hibernacles) — dans les deux cas, les hibernacles commencent à se former le long des stolons souterrains ou au pied de la plante mère; leurs racines vont devenir de plus en plus volumineuses. Au mois de septembre les hibernacles sont formés et la plante feuillée commence à se faner. Elle porte alors des graines, qui vont passer l'hiver dans le sol, en même temps que les hibernacles. De septembre à décembre, alors qu'ils sont isolés et dormants dans le sol, les hibernacles ont une hydratation et une minéralisation relativement constantes, mais au fur et à mesure qu'ils vieillissent, le sodium s'accumule. Ainsi, en décembre, Na a deux fois plus d'importance dans les tissus et dans la matière minérale qu'en septembre (voir tableau I).

Etant donné la variabilité de la salinité du milieu extérieur pendant cette même période (tableau II), il n'est pas possible d'établir une relation entre cette salinité et la richesse hivernale croissante des hibernacles.

TABLEAU II

Quantités de NaCl contenu dans le sol (g/kg de sol sec) et dans l'eau de submersion (g/l) de la station dont sont issus les hibernacles de *Glaux maritima* analysés.

Mois	Sol	Eau
9/70	38,4	5,61
10/70	51,4	4,45
11/70	13,5	3,13
12/70	40,4	4,62
2/71	35,5	2,80
4/71	84,1	4,78
6/71	74,2	4,30
8/71	34,5	4,78
6/71	57,6	3,96
10/71	54,0	3,13
Moyenne	48,4	4,16

nacles en Na. Peut être le froid est-il plus responsable que la salinité de cette évolution des hibernacles.

ACTION DU FROID
APPLIQUÉ EN COURS DE FORMATION
DES HIBERNACLES

Les résultats obtenus dans l'essai A sont groupés sur les figures 1 et 2. Les hibernacles obtenus dans ces cultures sont nettement plus riches en matière minérale que ceux récoltés dans la nature. Par contre leur richesse en Na n'excède nettement celle observée sur le terrain que dans le cas des solutions SN₂ et SN₃, les plus salées, c'est-à-dire dans les seules conditions de culture, où l'application du froid aux hibernacles en cours de formation, augmente notablement leur teneur en sodium.

Il apparaît ainsi que le froid peut être responsable, s'il agit relativement tôt au cours de la vie des hibernacles, d'un fort enrichissement de leurs tissus en Na. Cette action n'est pas fatale; elle dépend de la salinité et de l'ensemble de la composition chimique du milieu extérieur. Il faut également noter que l'augmentation de la salinité a des effets très atténués sur la teneur des hibernacles en Na dans le cas de la solution SN₁ alors que les solutions SN₂ et SN₃ (*) ne semblent pas permettre aux *Glaux* d'assurer une efficace régulation saline quand le liquide nutritif contient plus de 2,5 g/l de NaCl.

ACTION DU FROID
SUR LES HIBERNACLES FORMÉS

Les résultats de cet essai B sont représentés fig. 3 et 4. Cet essai permet de retrouver la forte minéralisation des hibernacles cultivés et l'augmentation importante de leur teneur en Na, quand du sel est ajouté au liquide nutritif. Il faut cependant noter que les valeurs trouvées ici sont toujours inférieures à

* Dans la solution SN₁ les phosphates sont des phosphates de Ca alors que pour SN₂ et SN₃, ce sont des phosphates de Na.

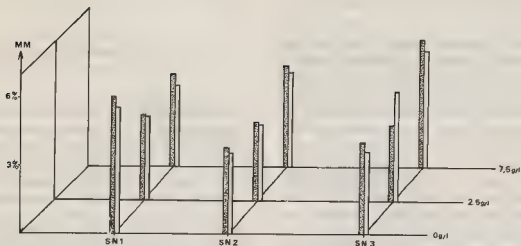


FIG. 1. — Variations de la teneur de la matière sèche en matière minérale (= MM) des hibernacles de *Glaux maritima*, en fonction de la salinité (NaCl g/l) et de la nature du milieu de culture (SN) (Essai A). Rectangle pointillé = hibernacles ayant subi 1 mois de froid pendant leur formation; rectangle blanc = hibernacles toujours maintenus au chaud

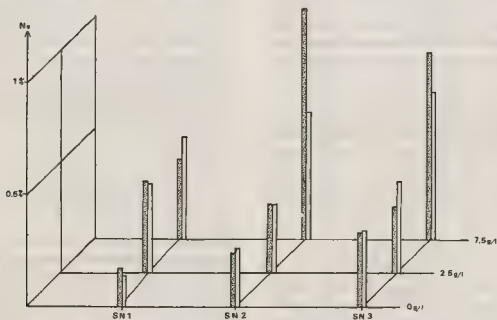


FIG. 2. — Variations de la teneur de la matière sèche en Na, des hibernacles de *Glaux maritima*, en fonction de la salinité (NaCl g/l) et de la nature du milieu de culture (SN). (Essai A; mêmes notations que fig. 1)

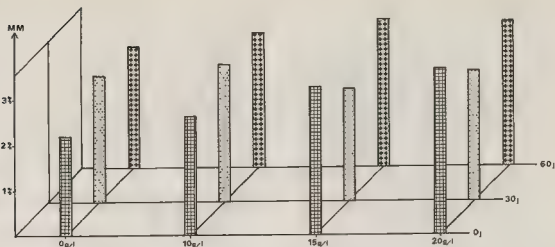


FIG. 3. — Variations de la teneur de la matière sèche en matière minérale ($\approx$ M.M.) des hibernacles de *Glaux maritima*, en fonction de la salinité (NaCl g/l) et de la durée de réfrigération (en jours), subie par les hibernacles complètement développés. (Essai B)

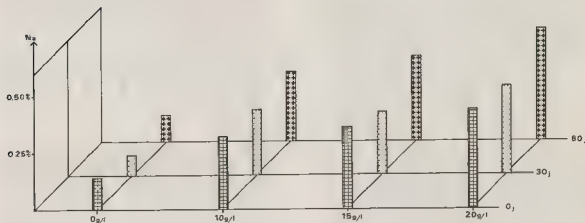


FIG. 4. — Variations de la teneur de la matière sèche en Na des hibernacles de *Glaux maritima*, en fonction de la salinité (NaCl g/l) et de la durée de réfrigération (en jours) subie par les hibernacles complètement développés. (Essai B).

celles obtenues dans les essais précédents, même pour les individus n'ayant pas subi de réfrigération.

Malgré les fortes salinités utilisées, le froid n'apparaît plus ici comme un facteur susceptible de modifier fortement la teneur des tissus en Na, bien que la solution SN₂ ait été utilisée, c'est-à-dire le milieu où la régulation saline des *Glaux* est mauvaise pendant leur développement (voir essai A).

CONCLUSIONS

La pénétration du Na dans les tissus des hibernacles de *Glaux maritima* augmente avec la salinité du milieu jusqu'à 10 g/litre de NaCl. Ensuite il s'établit une régulation de cette teneur. La nature du milieu de culture joue un rôle mais il est difficile, pour l'instant

de définir les éléments des différents milieux qui interviennent dans le métabolisme du Na.

Les teneurs en sodium des hibernacles récoltés dans la nature sont voisines de celles trouvées en culture expérimentale, pour des milieux dont la salinité est comprise entre 0 et 2,5 g/litre NaCl, et se rapprochent plus particulièrement des résultats obtenus avec les hibernacles cultivés sur milieu SN₁ à 2,5 g/litre NaCl. Les différences proviennent vraisemblablement des variations de salinité au cours de l'année et de la nature chimique du sol.

Le froid augmente la teneur en Na des hibernacles, s'il agit au cours de leur formation; la teneur en matière minérale étant alors peu modifiée, on peut penser que le froid agit sur la pénétration différentielle des ions, en augmentant la pénétration de Na par rapport aux autres ions ou en permettant la sortie d'autres ions.

Si l'action du froid et des fortes salinités agit sur la glucidogenèse en limitant en particulier l'accumulation d'amidon, ce n'est sans doute pas en modifiant fortement la teneur des tissus en Na, car :

— l'action des fortes salinités sur l'amylogénèse n'est décelable qu'au delà de 15 g/l de NaCl (GRANDIN, 1973), alors que l'augmentation du Na dans les tissus peut apparaître dès 7,5 g/l de NaCl et se stabiliser ensuite;

— le froid appliqué à l'issue de la formation des hibernacles, n'a pas d'action sur leur teneur en Na alors qu'il diminue la formation d'amidon dès qu'une réfrigération de 30 jours est appliquée (GRANDIN, 1973).

BIBLIOGRAPHIE

- BINET (P.), 1965. — Action de la température et de la salinité sur la germination des graines de *Glaux maritima* L. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **112** (7-8), 346.
- BINET (P.), 1967. — Les premiers stades de développement de *Glaux maritima* L. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **114**, (5-6), 121.
- BINET (P.), 1970. — Evolution de l'amidon et des sucres solubles chez des feuilles isolées d'*Aster tripolium* et de *Cochlearia anglica*. Action du NaCl. *Physiol. Plant.*, **23**, 1170.
- BINET (P.), 1971. — Sucres solubles et amidon chez *Cochlearia anglica*. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, **118** (1-2).
- BUCHENAU (F.), 1864. — *Verh. Bot. Ver.* **6**, 198.
- CHAPMAN, 1960. — Coastal Vegetation. Gauthier Villars.
- CHOUARD (P.), 1951. — Cultures sans sol, « La maison rustique », p. 64.
- GRANDIN (M.), 1968. — La dormance des hibernacles de *Glaux maritima* L. *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, **266**, 2193.
- GRANDIN (M.), 1969. — Action du froid et de la salinité sur la formation et le développement des hibernacles de *Glaux maritima* L. *Bull. Soc. Linn. Normandie*, s. 10, **10**, 60.
- GRANDIN (M.), 1971. — La dormance des hibernacles et l'adaptation à la salinité chez *Glaux maritima* L. *Ecol. Plant.*, **6**, 220.
- GRANDIN (M.) 1973. — Action du froid et de la salinité sur la teneur en glucides des hibernacles de *Glaux maritima* L. *An. Sc. Nat. Bot.*, Paris, s. 12, **14**, 33-40.
- HEGL. — Illustrierte Flora von Mittel Europa. Lehmanns. München.
- LESAGE, 1891. — Contribution à la Biologie des plantes du littoral et des Halophytes. Influence de la salure sur l'anatomie des végétaux, Rennes.
- LESAGE, 1892. — ClNa dans les plantes, *C.R. Ac. Sc.*, **114**.
- MONTFORT-BRANDRUP, 1927. — Physiologische und pflanzengeographische Seesalzwirkungen. *Jb. Wiss. Bot.*, **66** (5), 902.
- NOEL JORAND, 1968. — Contribution à l'étude du métabolisme azoté et glucidique chez *Salicornia stricta* D. Thèse de 3^e cycle, Caen.
- SMITH (R. L.) and WIEDMAN (V. E.), 1964. — *Canad. J. Bot.* (11), 1582.
- VANDEN-BERGHEM, 1964. — La végétation terrestre du littoral de l'Europe occidentale. « Les Naturalistes Belges », Bruxelles.

ESQUISSE BIOCLIMATIQUE DANS LE DÉPARTEMENT DE L'AUDE ET LES RÉGIONS LIMITROPHES

par B. THIÉBAUT

Laboratoire de systématique et géobotanique méditerranéennes, Institut de botanique, Montpellier.

RÉSUMÉ

Les modifications du climat dans le département de l'Aude ont été analysées sur la base des données météorologiques mensuelles moyennes. Mais la présence d'une large zone de transition rend indispensable l'étude plus précise des modifications climatiques sur la base des précipitations mensuelles brutes.

La réalité climatique apparaît tout autrement quand on passe des données moyennes aux données brutes; on passe d'une étude des « fluctuations » climatiques moyennes à une étude de la succession des « temps annuels », qui caractérisent mieux le climat dans lequel

vivent les plantes. Les définitions classiques de « régime pluviométrique méditerranéen », de « sécheresse » et de « transition climatique », habituellement établies sur l'analyse de données moyennes, sont à reconsidérer quand on examine la succession des temps annuels. Dans l'Aude, une zone méditerranéenne « littorale », une zone méditerranéenne « sub-littorale », une zone méditerranéenne de montagne et une zone de transition se distinguent grâce à des successions différentes de temps annuels.

SUMMARY

The climate modifications in the district of Aude have been analysed on the basis of average (mean) monthly meteorological data. But the presence of a wide zone (area) of transition makes necessary a more precise study of the climatic modifications on the basis of gross monthly precipitations.

The climatic reality appears quite different when one passes (proceeds) from the average data to the gross data; One proceeds from a study of average climatic « fluctuations » to a study of the succession of « annual

weathers » which characterize better the climate in which the plants live. The classical definition of « mediterranean pluviometric regimen », of « drought » and of « climatic transition » usually established on the analysis of the average data, have to be reconsidered when one examines the succession of annual weathers. In Aude, a « littoral » mediterranean zone, a « sub-littoral » mediterranean zone, a mountain mediterranean zone and a transition zone may be distinguished thanks to the various successions of annual weathers.

ZUSAMMENFASSUNG

Die regionalen Abänderungen des Klimas im Département Aude (Frankreich) wurden auf der Basis der langjährigen Monatsmittel der meteorologischen Messungen analysiert. Aber eine breite Übergangszone macht ein genaueres Studium der Modifikationen des Klimas an Hand der nicht umgeformten Meßwerte der monatlichen Niederschläge notwendig.

Die klimatische Realität erscheint ganz anders, wenn man von den Mittelwerten zu den direkten Meßwerten übergeht; man geht von einer Untersuchung der mittleren klimatischen « Fluktuationen » zu einem Studium der Folge der « Jahreswetter » über, die das Klima, in dem die Pflanzen leben, besser charakterisieren. Die klassischen Definitionen des « mediterranen Nieder-

schlagsregimes», von «Trockenheit» und «klimatischem Übergang», gewöhnlich auf die Analyse der Mittelwerte gegründet, müssen neu gefaßt werden, wenn man den Ablauf der Jahreswetter untersucht. Im Département Aude können eine «littorale» méditerranéenne Zone,

eine «sub-littorale» méditerranéenne Zone, eine méditerranéenne Zone der Berge und eine Übergangszone an Hand der verschiedenen Abläufe der Jahreswetter unterschieden werden.

INTRODUCTION

En France, les écologistes s'accordent pour reconnaître l'existence d'un domaine méditerranéen. Cependant, malgré son originalité climatique et floristique, la région méditerranéenne française reste difficile à définir. En effet les bords de la Méditerranée ne sont pas soumis à un climat unique mais à plusieurs climats dont certains forment une transition avec les climats océaniques et continentaux voisins.

Dans l'Aude et les régions limitrophes, les modifications du climat peuvent être analysées sur la base des données moyennes calculées sur plusieurs années; mais la présence d'une large zone de transition rend indispensable l'étude plus précise des phénomènes sur la base des données brutes relevées chaque année.

Seules les précipitations et les températures ont pu être utilisées, car elles font l'objet d'observations suivies sur un réseau météorologique suffisamment dense (fig. 1). Les autres facteurs, malgré l'importance qu'ils peuvent prendre localement (vents notamment), n'ont pu être analysés faute d'observations suffisantes.

I. — LE CLIMAT MOYEN

1. LES PRÉCIPITATIONS.

L'étude des régimes pluviométriques saisonniers fait apparaître des variations progressives entre un

régime méditerranéen, un régime océanique confus et un régime continental (fig. 2).

11. Les bords de la Méditerranée.

Le régime pluviométrique méditerranéen «comporte, dans sa forme la plus nette, un maximum d'hiver et un minimum d'été» (Ch.-P. PÉGUY, 1970, p. 363). En France «sévit un régime dédoublé: les précipitations y tombent principalement en automne et accessoirement au printemps, la sécheresse d'été constitue la caractéristique principale du régime» (*ibidem*, p. 364).

Dans l'Aude la marge côtière est caractérisée par un régime méditerranéen littoral (E. BÉNÉVENT, 1926) au minimum principal en été et au minimum secondaire au printemps. A. GASTON, 1962 et G. CABALLÉ, 1969-70 ont signalé l'existence d'une zone de faibles précipitations en bordure de la mer «dans un triangle dont les sommets sont Port-la-Nouvelle, Durban et Fitou» (G. CABALLÉ, 1969, p. 20). Selon les années cette zone peut s'étirer jusqu'à Narbonne, la pluviosité y est de l'ordre de 450 mm et le coefficient «d'étérianité p_a/p_e » de P. CURÉ (1943), varie autour de 7.

a ⁽¹⁾	b	c	d	H	P	E	A	e	f
35	Fitou	1	449	112	107	61	169	AHPE	7,36
56	La Nouvelle	5	420	107	109	54	150	APHE	7,77
74	Sigeac	55	458	115	123	70	160	AHPE	7,63
55	Narbonne	6	507	131	128	70	178	AHPE	7,24

Au-delà de ce triangle, les précipitations annuelles augmentent et passent au-dessus de 500 mm; mais

Légende

Régime méditerranéen

littoral	○	variante sèche
	●	variante humide
sub-littoral	⊙	
de montagne	▲	variante océanique
	△	variante méditerranéenne

Régime de transition *

Régime océanique confus *

Régime continental ■

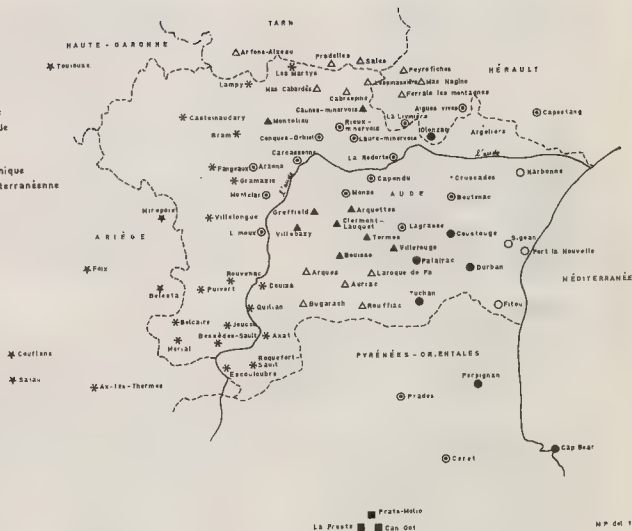


Fig. 1. — Réseau météorologique et localisation des différents régimes pluviométriques moyens.

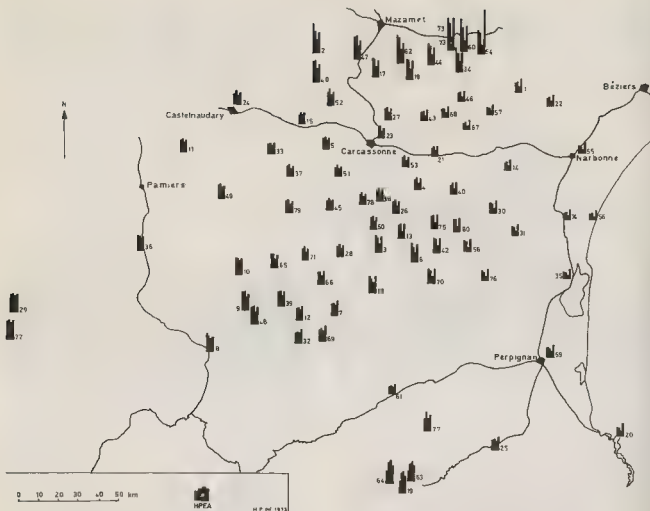


FIG. 2. — Régimes pluviométriques dans l'Aude et les Pyrénées-Orientales françaises.

1 Aigues-Vives	21 Capendu	41 Lampy-Saussac	61 Prades
2 Arfons	22 Capestang	42 Laroque-de-Fa	62 Pradelles-Cabardès
3 Arques	23 Carcassonne	43 Laure-Minervois	63 Prats-Mollo
4 Arquettes	24 Castelnaudary	44 Lespinassière	64 Preste (La)
5 Arzens	25 Céret	45 Limoux	65 Puivert
6 Auriac	26 Clermont-Lauquet	46 Livinière (La)	66 Quillan
7 Axat	27 Conques/Orbeil	47 Marty (Les)	67 Redorte (La)
8 Ax-les-Thermes	28 Couiza	48 Merial	68 Rieux-Minervois
9 Belcaire	29 Couffens	49 Mirepoix	69 Roquefort-Sault
10 Belesta	30 Coustouge	50 Missègre	70 Rouffiac
11 Belpech	31 Durban	51 Montclar	71 Rouvenac
12 Bessèdes-de-Sault	32 Escouloubre	52 Montoliu	72 Salau
13 Bousse	33 Fangeaux	53 Monze	73 Sales
14 Boutenac	34 Ferrals-les-Montagnes	54 Nagine (Mas)	74 Sigean
15 Bram	35 Fitou	55 Narbonne	75 Termes
16 Bugarach	36 Foix	56 Nouvelle (La)	76 Tuchan
17 Cabardès (Mas)	37 Gramazie	57 Olonzac	77 Velmanya
18 Cabrespine	38 Grefffield	58 Palarac	78 Villebazy
19 Can Got	39 Joucou	59 Perpignan	79 Villelongue d'Aude
20 Cap Bear	40 Lagrasse	60 Peyrefiches (Mas)	80 Villerouge

le régime saisonnier reste inchangé. Si l'automne, l'hiver et le printemps sont plus arrosés, les précipitations estivales demeurent aussi faibles que sur la côte en sorte que le coefficient d'étéianité prend des valeurs plus fortes de l'ordre de 8 (sauf à Olonzac et dans les stations des Pyrénées-Orientales).

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
57	Olonzac	48	521	139	121	81	178	AHPE	6,43
31	Durban	120	551	159	144	67	187	AHPE	8,22
76	Tuchan	160	578	167	146	72	193	AHPE	8,02
30	Coustouge	260	594	165	162	72	195	AHPE	8,25
58	Paléirac	365	633	185	167	77	204	AHPE	8,22
59	Perpignan	43	639	178	156	93	212	AHPE	6,87
20	Cap Bear	100	553	141	133	72	207	AHPE	7,68

12. Les Carcasses et le Minervois.

A l'intérieur du pays, les stations présentent un régime sub-littoral (E. BÉNÉVENT, 1926); la courbe pluviométrique annuelle se modifie à la suite d'une diminution de la pluviosité hivernale, le régime offre un minimum principal en été et un minimum secondaire en hiver, le printemps et l'automne demeurent pluvieux. Les apports d'origine océanique étant plus importants à l'ouest des principaux reliefs, les précipitations annuelles y sont plus élevées et le printemps devient la saison la plus arrosée; alors qu'à l'est, les reliefs interceptent une partie des précipitations d'origine océanique, les précipitations annuelles sont plus faibles et le premier maximum est toujours enregistré en automne. L'atténuation du caractère méditerranéen à l'ouest des reliefs s'accompagne d'un abaissement du coefficient d'étéianité qui varie autour de 5.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
A l'est des principaux reliefs :									
22	Capestang	30	587	146	159	90	194	APHE	6,52
67	La Redorte	56	451	107	125	59	160	APHE	7,64
21	Capendu	79	542	135	153	89	165	APHE	6,08
43	Laure-minervois	80	582	153	158	99	172	APHE	5,87
14	Boutenac	85	510	123	141	75	171	APHE	6,80
1	Agues-vives	100	668	169	171	96	230	APHE	6,95
46	La Livinière	116	560	143	159	78	179	APHE	7,67
68	Rieux-minervois	125	495	118	139	72	166	APHE	6,87
40	Lagrasse	130	610	143	189	86	192	APHE	7,09
A l'ouest des principaux reliefs :									
5	Arzens	124	692	176	196	138	182	PAHE	5,01
27	Conques sur Orbviel	125	702	187	207	123	185	PAHE	5,70
23	Carcassonne	126	678	172	202	132	172	PAHE	5,13
53	Monze	157	600	154	182	100	164	PAHE	6,00
45	Limoux	172	612	143	184	129	156	PAHE	4,74
51	Montclar	220	619	150	187	125	157	PAHE	4,95

13. La zone montagneuse.

Le relief a pour effet d'augmenter l'intensité des pluies, il « capte » les précipitations selon leur origine et l'exposition des versants, ce qui augmente les différences entre périodes pluvieuses et périodes sèches et contraste les régimes.

Dans les Corbières septentrionales et la Montagne Noire occidentale, davantage exposées aux flux d'origine océanique, la pluviosité annuelle est élevée et le printemps prend le pas sur l'hiver puis sur l'automne.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
73	Villebazy	300	667	166	200	128	173	APHE	5,21
80	Villeroque	320	707	200	200	90	217	APHE	7,85
75	Termes	340	784	223	227	106	223	APHE	7,39
13	Bouisse	620	846	230	241	127	248	APHE	6,66
4	Arquettes	250	658	170	204	100	184	PAHE	6,58
52	Montoliou	280	873	222	258	166	227	PAHE	5,25
38	Grefffield	290	699	180	211	119	189	PAHE	5,87
26	Clermont-Lauquet	400	735	192	224	120	199	PAHE	6,12

Sur les autres versants moins exposés aux flux océaniques, les précipitations restent prépondérantes en hiver, dans tous les cas :

— dans la Montagne Noire orientale le régime pluviométrique est de type littoral, AHPE, et le coefficient d'étéianité est supérieur à 7 ;

(1) Légende des tableaux : a = n° de station, fig. 2; b = nom de la station; c = altitude en m; d = pluviosité annuelle en mm; H, P, E, A = pluviosités saisonnières en mm; e = régime saisonnier selon MUSSET; f = coefficient d'étéianité Pa/Pe de P. CURÉ, 1943

— dans la Montagne Noire centrale et les Corbières du sud, le maximum automnal diminue progressivement, l'automne se glisse à la seconde place après l'hiver, puis à la troisième après le printemps.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
Montagne Noire orientale :									
54	Mas Nagne	350	950	280	249	146	275	HAPE	10,60
73	Sales	640	1 580	383	343	149	705	AHPE	8,19
Montagne Noire et Corbières centrales :									
3	Arques	350	950	280	249	146	275	HAPE	6,50
70	Rouffiac	353	837	264	217	119	247	HAPE	7,03
6	Aunac	390	985	308	243	149	285	HAPE	6,61
34	Ferrals-montagnès	400	1 130	394	305	114	315	HAPE	9,91
16	Bugarach	430	954	280	239	164	271	HAPE	5,81
42	Laroque-de-Fa	460	833	245	231	120	237	HAPE	6,94
60	Peyrèsiches	600	1 488	521	382	169	413	HAPE	8,80
18	Cabrespine	310	1 139	334	329	183	293	HPAE	6,22
17	Mas Cabardès	440	1 041	302	298	171	270	HPAE	6,08
44	Lespinassière	520	1 122	340	314	170	298	HPAE	6,60
62	Pradelles	810	1 438	456	418	234	330	HPAE	6,14
2	Arfons-Alzeau	652	1 397	477	353	225	341	HPAE	6,20

14. Les marges occidentales.

La transition vers les régimes océaniques est marquée par « une tendance progressive vers une répartition régulière de la pluviosité sur les douze mois de l'année, par abaissement de la pluviosité des saisons, d'automne à printemps, et comblement du creux estival » (A. BAUDIÈRE et L. EMBERGER, 1959 : 96). Les différentes nuances examinées précédemment se retrouvent, mais dans tous les cas le régime présente un « creux estival » moins accusé. Le printemps ou l'hiver présentent des précipitations très irrégulières.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
66	Quillan	282	792	210	212	149	221	APHE	5,31
15	Bram	130	695	160	201	151	183	PAHE	4,60
24	Castelnau-d'Aud	170	730	167	220	163	180	PAHE	4,47
38	Couiza	222	717	174	209	148	186	PAHE	4,84
23	Fangeaux	300	672	165	183	145	179	PAHE	4,63
37	Gramaze	220	683	181	197	135	170	PHAE	5,05
71	Rouvenac	310	744	199	213	140	192	PHAE	5,31
79	Villelongue-Aude	320	741	199	211	145	186	PHAE	5,11
39	Joucou	600	914	247	251	171	245	PHAE	5,36
41	Sasas-Lampy	652	1 210	342	356	220	292	PHAE	5,50
47	Les Martyrs	780	1 284	377	380	219	308	PHAE	5,86
48	Merial	920	1 088	291	304	207	286	PHAE	5,25
9	Belcarre	1 000	1 134	310	318	211	295	PHAE	5,37

La transition peut s'effectuer également par l'apparition de régimes transitoires nouveaux. E. BÉNÉVENT (1926 : 298) décrit dans les Alpes un régime intermédiaire entre la Savoie et la Basse-Provence : entre deux régions, une première « dont la pluviosité revêt nettement un caractère continental et une deuxième où le régime est méditerranéen, il y a une partie centrale de beaucoup plus étendue qui possède un régime tout spécial, intermédiaire entre les deux autres types : elle emprunte au premier son minimum d'hiver et au second son maximum d'automne. C'est un vrai régime mixte ou de transition ». Dans ce cas la transition s'effectue par rabattement du maximum hivernal du régime méditerranéen dédoublé. Sur la rive droite du Rhône, A. BAUDIÈRE et L. EMBERGER (1959) décrivent un autre type de transition issu du rabattement du maximum automnal où l'été et l'automne deviennent les saisons les moins humides.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
Par rabattement du maximum hivernal									
7	Axat	420	822	202	211	166	243	AHPE	4,95
12	Bessèdes de Sault	530	838	211	217	169	241	APHE	4,95
32	Escouloubre	950	793	179	191	184	239	APEH	—
69	Roquefort de Sault	990	995	839	193	180	258	APHE	4,66
Par rabattement du maximum automnal :									
8	Ax-les-Thermes	74	1 037	311	264	221	241	HPAE	4,69

Seul Ax-les-Thermes, situé sur le versant ouest du massif de Madres, donc protégé en partie des flux d'origine méditerranéenne, présente un affaissement du maximum automnal.

15. Le Lauragais.

Le régime océanique est caractérisé par un « minimum relatif des précipitations au printemps ou au début de l'été... et des précipitations du type « crachin » (Ch.-P. PÉGUÉY, 1970 : 354) et, poursuit l'auteur : « l'absence de toute rigueur dans l'organisation saisonnière des précipitations rend les régimes pluviométriques particulièrement sensibles au jeu des conditions locales. Selon que les pentes seront exposées à tel ou tel vent humide, les précipitations y seront abondantes en telle saison plutôt qu'en telle

autre... et si l'arrière-pays est moins élevé, ce qui est le cas dans l'ouest français, les précipitations tendent à s'uniformiser selon la saison... On passe, dans ces régions, d'un régime océanique pur, limité à peu près au littoral, à un régime océanique confus dans l'intérieur » (*ibidem* : 355).

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
49	Mirepoix	315	836	228	222	184	202	HPAE	4,54
36	Forç	390	944	249	245	220	230	HPAE	4,29
10	Belesta	489	1 023	287	278	232	276	HPAE	4,40
29	Conflens	702	1 162	296	307	275	284	HPAE	4,22
72	Salau	855	1 225	305	325	285	315	HPAE	4,29
	Toulouse	152	659	162	178	159	160	HPAE	4,14
Pour référence dans l'Aquitaine									
	Cap Ferret	9	870	264	168	164	274	AHPE	5,30
	Bordeaux	46	814	274	172	199	263	HAPE	4,09
	Agen	59	715	195	181	171	168	HPEA	4,18

16. Les Pyrénées orientales.

Au sud, vers les Pyrénées, le régime méditerranéen glisse insensiblement vers un régime continental en passant successivement par un type littoral (variante humide), puis par un type sub-littoral où l'été est en partie comblé. Dans le bassin intérieur du Tech, les pluies sont plus abondantes en été, mais la pluviosité demeure importante pour les autres saisons.

a	b	c	d	H	P	E	A	e	f
Zone méditerranéenne littorale									
59	Perpignan	43	639	178	156	93	93	AHPE	6,8
20	Cap Bear	100	553	141	133	72	207	AHPE	7,6
Zone méditerranéenne sub-littorale									
25	Ceret	139	679	156	182	133	208	APHE	5,1
61	Prades	347	544	131	140	113	160	APHE	4,8
Zone continentale									
63	Prats de Mollo	750	960	152	263	300	275	EPAH	3,2
19	Can Got	850	1 160	205	330	350	275	EPAH	2,4
64	La Preste	1 130	1 200	205	340	375	280	EPAH	3,2

En résumé, dans l'Aude, mis à part le versant sud-oriental de la Montagne Noire où le régime méditerranéen dédoublé présente des caractères accusés, les régimes pluviométriques évoluent rapidement dès que

l'on s'éloigne de la Méditerranée. Les définitions précédentes permettent de distinguer (fig. 1) :

— une zone méditerranéenne littorale, au régime unique, qui présente une variante humide et une variante sèche;

— une zone méditerranéenne dans l'arrière-pays où la diversité des régimes sub-littoraux annonce déjà des phénomènes de transition. L'évolution des régimes présente deux variantes, une variante plus méditerranéenne où l'hiver recueille plus d'eau que le printemps comme sur le littoral et une variante plus océanique où le printemps l'emporte sur l'hiver comme dans les régimes aquitains;

— une zone méditerranéenne montagnarde sur les versants méridionaux de la Montagne Noire et des Corbières, au régime unique, méditerranéen-dédoublé;

— une zone de transition proprement dite, caractérisée par un abaissement du pic hivernal ou du pic automnal;

— une zone océanique marginale au régime océanique confus;

— la vallée du Tech au régime pluviométrique continental.

L'altération du régime méditerranéen en plusieurs régimes permet de comprendre l'évolution des précipitations, mais en écologie l'atténuation de la sécheresse pendant la saison chaude est un facteur plus important encore.

2. LA SÉCHERESSE.

Le climat est sec lorsque la somme des pertes excède les disponibilités hydriques. D'un point de vue biologique la question est complexe car chaque plante s'adapte à sa manière au bilan hydrique offert par la station. Et les causes de sécheresse peuvent dépendre des facteurs climatiques, mais aussi des caractères de la station. Il s'ensuit que dans le cadre d'une étude bioclimatique régionale la définition précise de la sécheresse nous échappe. Cependant les botanistes ont essayé d'estimer la sécheresse par des procédés inductifs. Pour cela ils utilisent une formule qui exprime la valeur globale de la sécheresse, ensuite

pour définir l'intensité de cette sécheresse ils se réfèrent à des stations-types dont le couvert végétal est représentatif de divers degrés d'aridité.

Le premier essai connu pour apprécier la sécheresse fut celui du Comte de GASPARDIN, aux environs de 1859 (cité par A. COUTAGNE, 1941 : 67). Établissant une relation entre les précipitations mensuelles (P), la température moyenne du mois (T) et le nombre de jours du mois (N), cet auteur considérait qu'un mois est réputé humide, si le rapport P/NT est plus grand que 0,14"; autrement dit si $P > 4,2 T$ pour un mois de 30 jours.

Par la suite E. de MARTONNE (1925 : 233) proposa un indice permettant d'estimer l'humidité mensuelle : « le mois est sec, si le chiffre des précipitations en millimètres est inférieur au double de la moyenne des températures en degrés centigrades ». Dans cette dernière formule, le passage du quadruple de la température moyenne au double de la même température moyenne, n'a jamais été explicité et cependant W. KÖPPEN (1931) l'utilisa pour classer ses climats.

Plus tard, F. BAGNOULS et H. GAUSSEN (1953) ont remis cet indice à l'honneur en préconisant la construction d'un diagramme pluviothermique. Cette convention n'a rien d'arbitraire et repose sur des faits d'observation : « aux limites de la région méditerranéenne, la corrélation entre les deux valeurs des deux variables pour le mois le plus sec satisfait à la relation $P = 2T''$ (P. REY, 1957 : 131).

Cet indice met en rapport les gains en eau et le pouvoir asséchant de l'air exprimé par la température moyenne. Or comme le souligne A. GIACOBBE (1959 : 17) l'évaporation n'augmente pas tant avec la température moyenne qu'avec la température maximale et cet auteur a proposé un indice de sécheresse estivale dans lequel il établit un rapport entre les précipitations estivales et la moyenne des maxima du mois le plus chaud (A. GIACOBBE, 1949). Cependant mon propos étant d'étudier par la suite les variations de la sécheresse mois après mois, année par année, et aucun auteur n'ayant adapté l'indice de A. GIACOBBE à des périodes mensuelles, je m'en tiendrai à l'indice P/T .

Mais j'adopterai plusieurs seuils comme le préconisent H. GAUSSEN (1949) et P. CURÉ (1964) :

- $P < T$ mois « sursec » (H. GAUSSEN, 1949)
- $T < P < 2T$ mois « sec »
(id.)
- $2T < P < 3T$ mois « subsec »
(id.)
- $3T < P < 4T$ mois « subhumide » (F. BAGNOULS et
H. GAUSSEN, 1964)
- $4T < P < 5T$ mois « humide »
(id.)
- $5T < P < 8T$ mois « surhumide » (F. BAGNOULS, H.
GAUSSEN, 1964 et P. CURÉ 1964)
- $8T < P$ mois « perhumide » (P. CURÉ, 1964)

Néanmoins quelle que soit leur perfection ces définitions demeurent approximatives car il n'est pas toujours évident que l'évaporation augmente avec la température moyenne ou maximale. Supposons que l'augmentation de la température s'accompagne d'une élévation de l'humidité de l'air, comme ce peut être le cas sur le littoral à proximité des étangs et de la mer, l'augmentation de la vapeur d'eau aura pour conséquence un ralentissement de l'évaporation et peut-être même des phénomènes de condensation qui mettront davantage d'eau à la disposition des végétaux malgré l'augmentation de la température.

L'étude des diagrammes ombrothermiques (fig. 3) montre que la sécheresse est particulièrement forte sur le littoral méditerranéen et qu'elle diminue en intensité et en durée dans l'arrière-pays. La bordure occidentale des Corbières ne connaît qu'une sécheresse atténuée. Au-delà du seuil du Lauragais ainsi que sur le versant sud de la Montagne Noire, la sécheresse disparaît. Partout, quand elle apparaît, la sécheresse ne se manifeste qu'en été.

II. — LE CLIMAT ANNÉE PAR ANNÉE

Le développement d'une zone de transition importante en arrière du littoral languedocien remet en

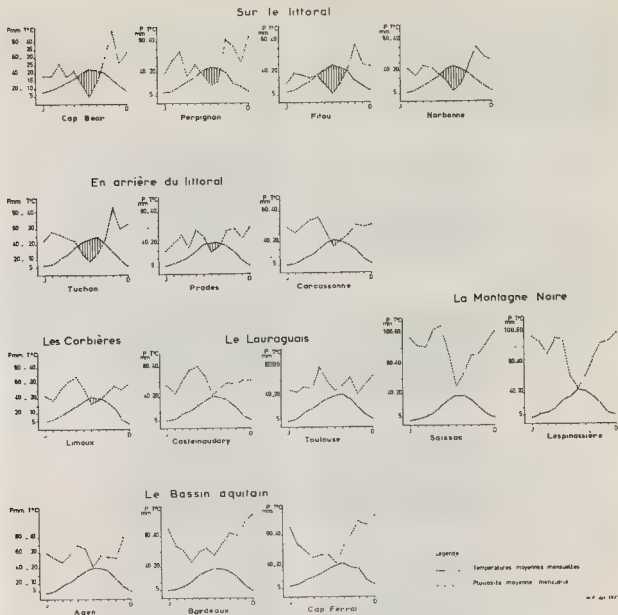


FIG 3. — La sécheresse : diagrammes ombrothermiques.

cause l'emploi de données météorologiques moyennes dont la représentativité est faible dans les zones de transition (A. BAUDIÈRE et L. EMBERGER, 1959; B. THIÉBAUT, 1968 et 1971).

Lorsque la pluviosité varie, le climat dans lequel vivent les plantes n'est pas tant celui que l'on peut

définir à l'aide d'indices de dispersion calculés sur les lames d'eau mensuelles prises isolément, mais plutôt celui que l'on peut définir en cheminant mois après mois, année par année. Entre deux stations voisines, pour une valeur égale des indices de dispersion, il importe davantage de connaître par exemple

combien de fois un mois de juin sec a été suivi ou non d'un mois de juillet également sec (B. THIEBAUT, 1973 : 11). C'est la raison pour laquelle j'ai repris l'analyse précédente en utilisant les données pluviométriques brutes mensuelles sur des tableaux à double entrée, qui respectent la succession chronologique des observations météorologiques (2).

1. LES PRÉCIPITATIONS

Sur les tableaux des figures 4, les taux mensuels ont été remplacés par un figuré plus ou moins noir, selon l'importance de la lame d'eau.

Le département de l'Aude est soumis à trois formes de pluviosités différentes :

- une forme littorale,
- une forme Montagne-Noire,
- une forme Corbières occidentales et Lauragnais.

Dans la forme littorale (fig. 4a), les lames d'eau mensuelles inférieures à 50 mm sont constantes tout au long des années. Les taux élevés, supérieurs à 50 mm, sont plus rares et toujours observés au printemps et surtout en automne et en hiver. Les mois arrosés sont souvent isolés et aléatoires d'une année à l'autre : aucun découpage saisonnier net n'apparaît entre une saison sèche et une saison humide. Le régime pluviométrique moyen dédoublé de type méditerranéen n'est pas souvent réalisé au cours des années, il tient davantage d'un artefact de calcul imputable aux précipitations élevées aléatoires : des précipitations parfois dominantes en début et en fin d'année tendent à gonfler les moyennes et à donner une estimation optimiste des apports en ces saisons. Il n'existe pas de « creux estival » net; la saison sèche, permanente en été, est mal circonscrite d'une année à l'autre et peut couvrir une grande partie de l'année.

(2) Ce travail a demandé le traitement mécanographique des précipitations mensuelles brutes observées pendant vingt ans et plus, dans 34 postes météorologiques.

M. P. DAVID, C.E.P.E. L. Emberger (Montpellier) a bien voulu se charger du programme et du traitement sur ordinateur, qu'il reçoive ici l'expression de mes meilleurs remerciements.

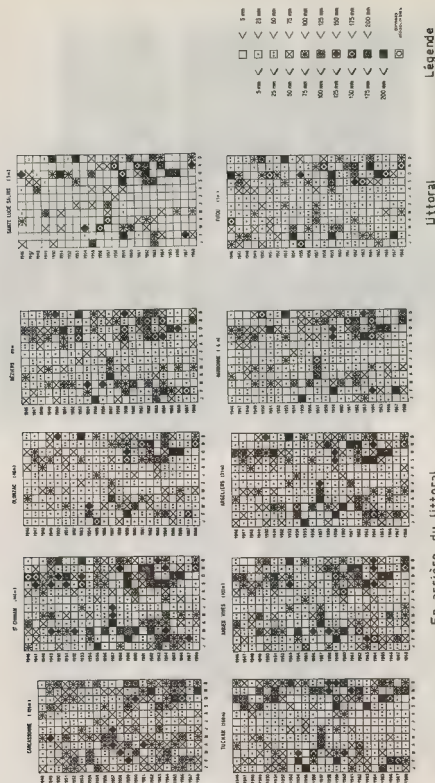
En arrière du littoral, la pluviosité présente les mêmes caractères généraux que sur la côte. Mais les précipitations faibles ont tendance à augmenter et sont souvent comprises dans la tranche des 25 à 50 mm. Les précipitations importantes sont plus fréquentes.

Dans la forme Montagne Noire (fig. 4b), la pluviosité présente des caractères méditerranéens accusés sur les versants abrités des flux océaniques; l'atténuation du caractère méditerranéen n'est donc pas sous la seule dépendance de l'éloignement du littoral : les lames d'eau inférieures à 50 mm sont observées uniquement en été alors que l'automne, l'hiver et le printemps enregistrent des taux élevés et pratiquement constants d'une année à l'autre. Ici le régime méditerranéen dédoublé est réalisé chaque année, la saison la moins arrosée est mieux localisée en été. La régularité de la pluviosité se traduit sur les graphiques par un découpage saisonnier vertical net. Dans cette région le régime pluviométrique moyen est davantage le reflet de la réalité.

D'avantage exposées aux flux atlantiques : Sales sur les crêtes, Saissac-le-Lampy et Arfons sur la bordure occidentale et Saint-Pons Bayssière au débouché du Thoré, ont toutes les quatre une pluviosité qui annonce déjà celle du Lauraguais. Le découpage saisonnier vertical moins strict est atténué par des années où l'été est humide. Une stratification horizontale d'années plus humides et plus sèches apparaît.

Dans les Corbières orientales (fig. 4c), Arques, Auriac et Gincla ont une pluviosité qui effectue la transition entre celle du littoral et celle de la Montagne Noire.

Dans les Corbières occidentales et le Lauraguais les valeurs inférieures à 50 mm sont très nombreuses un peu comme sur le littoral; généralement comprises dans la tranche la plus élevée entre 25 et 50 mm, elles se retrouvent à tout moment de l'année. Les taux supérieurs à 50 mm sont assez nombreux et ne présentent pas de répartition saisonnière très précise : plus fréquents au printemps, on les rencontre également en été, en automne et en hiver. Ils sont moins dispersés que sur le littoral quoiqu'irréguliers d'une année à l'autre. Il n'apparaît pas de découpage saison-



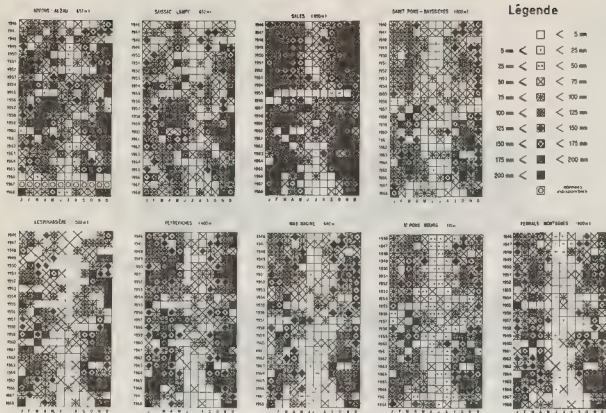


Fig. 4b. — La pluviosité année par année : forme Montagne noire.

nier vertical net, par contre un découpage horizontal souligne l'existence d'une succession d'années alternativement sèches et humides. Les influences océaniques se manifestent périodiquement par des pluies abondantes au printemps et en été.

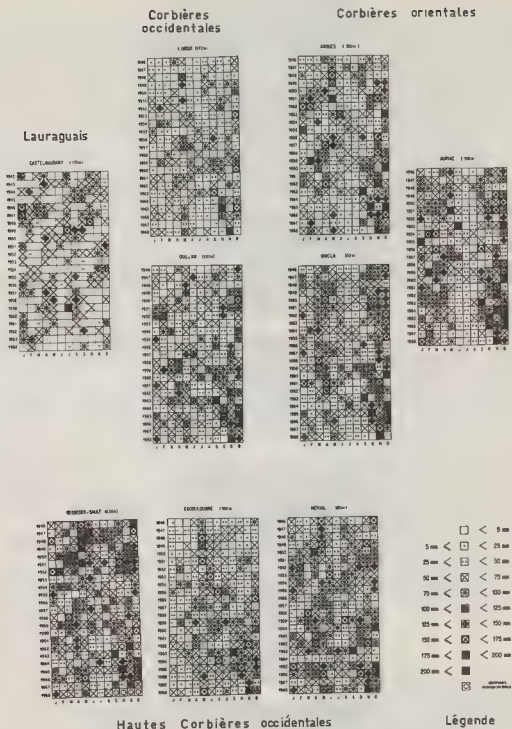
Dans les hautes Corbières occidentales, Escouloubre, Bessèdes-de-Sault et Merial font une transition vers un régime plus continental. La pluviosité est comparable à celle du Lauraguais, mais les précipitations abondantes sont plus fréquentes et ont tendance à arriver en été (cf. Prats-Mollo, Can-Got et La Preste, régime moyen de type continental, p. 245).

Dans l'Aude, toutes les stations sauf celles de la Montagne-Noire, présentent une pluviosité irrégulière qui répond mal à la définition du régime moyen dédoublé de type méditerranéen.

Si nous considérons qu'une des manifestations des phénomènes de transition climatique est l'irrégularité des précipitations d'une année après l'autre, à l'inverse de l'étude des données moyennes, celle des données brutes montre que la pluviosité sur le littoral est irrégulière donc d'un type transitoire; alors que dans l'arrière-pays, sur les versants sud, la pluviosité est plus régulièrement méditerranéenne car elle suit chaque année une distribution dédoublée, mais les précipitations estivales y sont plus élevées.

2. LA SÉCHÉRESSE

Dans les paragraphes suivants, les précipitations mensuelles brutes ont été traitées avec les tempéra-



tures mensuelles moyennes faute de pouvoir utiliser les observations thermiques à l'état brut sans risque d'erreur. En effet les abris météorologiques ne répondant pas aux mêmes normes, les températures peuvent difficilement être utilisées à l'état brut sans correction; par ailleurs, l'absence de série continue impose un minimum de calculs pour compléter, c'est-à-dire un traitement statistique qui aboutit à l'évaluation de températures moyennes dans une marge d'erreur déterminée. J'ai donc abandonné les températures brutes pour des températures moyennes plus sûres (3). Mais étant donné que les températures varient peu d'une année sur l'autre, ou du moins que leurs variations sont sans commune mesure avec celles des précipitations, il m'a paru intéressant de poursuivre cette étude afin d'examiner les conséquences de l'irrégularité pluviométrique sur le climat.

21. P/T.

Les rapports P/T ont été calculés pour les stations où les précipitations mensuelles brutes et les températures moyennes mensuelles étaient disponibles. Sur les graphiques de la figure 5, un figuré plus ou moins noir remplace ces rapports selon leur valeur. Seul l'arrière-pays présente un rythme saisonnier.

Sur le littoral, la « sécheresse » est un phénomène quasi permanent en été mais qui déborde largement le cadre de cette saison. Avec des limites aléatoires d'une année à l'autre, au printemps et en automne, la sécheresse dure généralement plus de 3 mois. Les rapports P/T supérieurs à 3 sont uniquement observés au printemps, en automne et en hiver; variables d'une année à l'autre, ils sont dispersés et l'on passe souvent sans transition d'un climat aride à un climat hyper-humide.

A Carcassonne, dans la zone sub-littorale, les valeurs élevées du rapport deviennent constantes au début et à la fin de chaque année. Le printemps est caractérisé par un climat subsec régulier et l'automne par un climat très contrasté. La sécheresse se trouve mieux circonscrite à l'été et à l'automne, elle dure moins longtemps que sur le littoral.

Dans la Montagne Noire, les périodes humides du début et de la fin de l'année se développent, délimitant plus précisément une période sèche estivale. L'été est toujours sec ou subsec à Lespinassière alors qu'au Lampy alternent les années à été humide et à été sec. Du fait de la stabilité du climat dans cette région, l'analyse des données moyennes reflète mieux la réalité examinée chaque année.

Dans les Corbières occidentales et le Lauragais, le rythme saisonnier s'atténue à nouveau. Les valeurs fortes supérieures à 6 se distribuent surtout au début et à la fin de l'année, toutes les autres forment une mosaïque complexe dans laquelle les rythmes climatiques s'estompent sans limites saisonnières précises.

Malgré l'emploi arbitraire de températures moyennes, cette analyse fait apparaître deux faits essentiels pour mieux comprendre l'écologie végétale en pays méditerranéen : dans la plaine méditerranéenne, la « sécheresse » est un phénomène très répandu qui sort du cadre de l'été et dans l'arrière-pays, sur les versants sud des montagnes, la « sécheresse » devient un phénomène strictement estival.

Evidemment la disparition des saisons sur le littoral et dans le Lauragais ne peut que nous surprendre. En fait la disparition des saisons relève d'un artéfact de calcul, car en définissant la « sécheresse » par le rapport d'une pluviosité variable sur un régime thermique stable, il est évident que l'irrégularité des précipitations transparaîtra dans les conclusions.

Par ailleurs, la convention P/T a été éprouvée sur des données moyennes mais son utilisation sur des données brutes n'a pas été testée et devient plus arbitraire. En effet l'objet étudié n'est plus le même : avec des « données moyennes » l'analyse porte sur des fluctuations moyennes (représentatives ou non du climat) alors qu'avec les « données brutes » l'ana-

(3) Ce qui entraînera une sous-estimation de la sécheresse pendant la période chaude, les températures exceptionnellement faibles diminuant la valeur de la température moyenne en été, et une sur-estimation de la sécheresse en période froide, les températures exceptionnellement fortes élevant la valeur de la température moyenne en hiver et au printemps. En fait, les effets asséchant du mistral n'ayant pas été étudiés, au printemps et en hiver, les estimations faites doivent se placer encore en-dessous de la réalité.

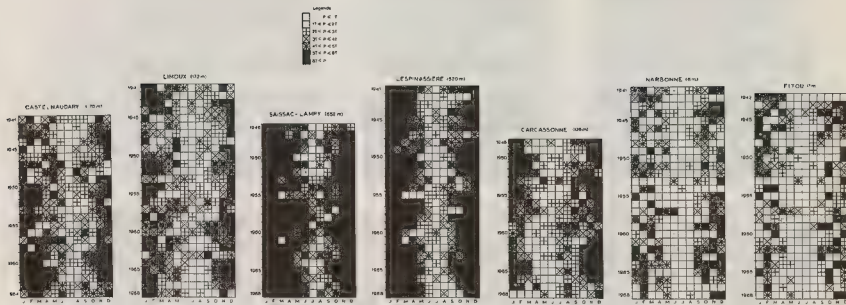


FIG. 5. — Rapport P/T: Précipitations mensuelles brutes/Températures mensuelles moyennes

lyse porte sur des observations isolées dont la durée est le mois. Or le mois est une période trop courte pour avoir une influence déterminante sur la végétation — sauf cas exceptionnel — (GIACOBBE, 1959 : 17), le climat d'un mois dépend beaucoup trop du climat des mois précédents, notamment de leur pluviosité et des réserves en eau constituées dans le sol.

22. La méthode de THORNTWHAITE.

Dans le cas idéal où le sol mettrait toujours assez d'eau à la disposition de l'air et des plantes, les besoins en eau pour la végétation d'une station correspondent à la quantité perdue par évaporation, augmentée de la quantité enlevée par transpiration.

Si l'on admet que la méthode de C. W. THORNTWHAITE (1948) est une bonne estimation des pertes en eau, le bilan de l'eau ressort de la comparaison entre les besoins potentiels (ETP) (4) et les précipitations qui sont censées représenter à elles seules les apports (5). Quand les apports dépassent les besoins, il y a excédent d'eau. Mais le problème se complique du fait que les apports excédentaires permettent au sol de reconstituer des réserves qui pourront être mises à la disposition des plantes en période de pénurie. La question délicate est d'évaluer ces réserves, la capacité d'un sol variant selon la nature du substrat et les caractères stationnels.

L'essentiel est d'adopter un « modèle » qui serre le plus près possible la réalité, en l'occurrence celui de C. W. THORNTWHAITE, et de voir ensuite comment évolue ce modèle selon les circonstances stationnelles. C'est pourquoi j'ai examiné ce qui se passerait pour différentes capacités de réserve du sol : 25 mm, 100 mm et même 200 mm, car il est intéressant de voir comment, sous un même climat général, le

bilan hydrique peut varier en fonction de ces différentes capacités de réserve.

Quand le bilan P - ETP devient positif, une rétention s'effectue au niveau du sol : il y a reconstitution des réserves jusqu'à concurrence des capacités offertes. Quand les réserves sont reconstituées, il n'y a plus rétention, les réserves étant saturées.

Quand le bilan P - ETP devient négatif, l'évapotranspiration et la végétation puisent l'eau dans le sol jusqu'à concurrence des réserves existantes. Quand ces réserves sont épuisées, il fait sec.

Sur les tableaux de la figure 6, j'ai donc retenu les cas suivants :

P — ETP > 0 :

- capacités saturées → excédent d'eau
- capacités non saturées → reconstitution des réserves

P — ETP < 0 :

- réserves non épuisées → eau disponible
- réserves épuisées → il fait sec.

Chaque année, l'intercalation d'une période « sèche » entre deux périodes « humides » fait apparaître des saisons, même sur le littoral exempt de saisons pluviométriques. Par contre, le rythme saisonnier peut s'estomper dans certaines conditions, dans la Montagne Noire où les saisons pluviométriques sont pourtant nettes.

A Narbonne, la sécheresse est permanente quelles que soient les capacités du sol pour stocker l'eau. La pénurie en eau se fait sentir pendant une grande partie de l'année même en dehors de l'été, elle dure plus ou moins selon l'importance des réserves du sol. Au printemps, quand les réserves sont faibles, la période sèche succède brutalement à la période humide et lorsque les réserves sont importantes, la pénurie en eau succède à l'épuisement progressif du stock. En automne, la pénurie doit se faire sentir davantage quand la capacité du sol en eau est grande, car les réserves sont plus longues à se reconstituer. D'ailleurs, les précipitations sont souvent insuffisantes pour saturer les capacités du sol ; il s'ensuit une sorte d'« essoufflement » : après une période sèche, les réserves n'ont pas même le temps de se reconstruire.

(4) Le calcul de ETP s'effectue à l'aide d'abaques « traduisant une relation linéaire entre le logarithme de l'évapotranspiration et la température moyenne. Ici contrairement à la méthode de F. BAGNOLIS et H. GAUSSEN, le rythme thermique marque davantage le bilan hydrique.

(5) En fait le bilan ainsi établi ignore l'extrême diversité de chaque écosystème : les caractères stationnels, le type de végétation, la présence ou non d'une nappe phréatique (comme c'est le cas dans la plaine de l'Aude), l'existence de vents dominants, les apports sous forme de brouillards (B. THIÉBAUT, 1968 et 1971).

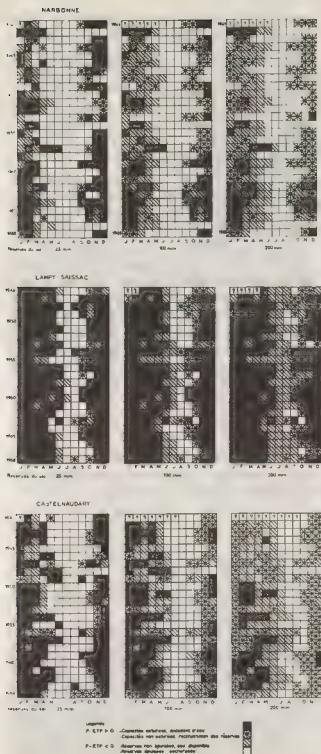


FIG. 6. — La méthode de C.W. THORNTHWAITTE (1948).

tuer que la période de pénurie suivante arrive. L'effet tampon des réserves demeure donc limité faute de pluies.

Au Lampy, l'effet tampon des réserves est plus important car les précipitations sont suffisantes chaque année pour reconstituer les stocks en eau. Quand la capacité d'un sol est élevée, la sécheresse est « effacée » et les saisons sont moins contrastées. Dans l'arrière-pays, la sécheresse n'est pas permanente et elle se fait sentir selon les conditions stationnelles : sous le même climat et la même année, des stations « sèches » aux capacités de réserves faibles s'opposent aux stations « humides » dont les capacités sont élevées.

Castelnaudary occupe une position intermédiaire. Le manque en eau apparaît tous les ans dans les stations « sèches » à capacités de réserves faibles alors que la pénurie est fortement atténuée dans les stations « humides » à capacités de réserves plus élevées. Après les périodes de pénurie, les précipitations s'avèrent suffisantes pour saturer les sols en eau quelle que soit leur capacité de rétention.

Quelle que soit la méthode employée pour estimer la sécheresse, le même fait s'impose dès qu'on étudie des précipitations mensuelles brutes au lieu de précipitations mensuelles moyennes : la sécheresse est continue pendant une grande partie de l'année sur les bords de la Méditerranée et ne devient estivale que dans l'arrière-pays.

Pour définir la sécheresse sur une période aussi courte que le mois, il est difficile de ne pas associer aux facteurs météorologiques des facteurs stationnels. En comptabilisant les réserves hydriques et l'ETP selon la méthode de C. W. THORNTHWAITTE, la sécheresse suit partout un rythme saisonnier même sur le littoral pourtant dépourvu de saisons pluviométriques (ce qui n'est pas étonnant dans la mesure où ETP est une fonction des températures moyennes dont le rythme saisonnier est net). Par contre, la sécheresse est permanente sur le littoral quelle que soit la réserve en eau du sol alors qu'elle devient irrégulière dans l'arrière-pays, pays de transition.

Plus conforme à la géographie générale de la région, ces derniers résultats semblent plus proches

de la réalité contingente dans laquelle se déroule la vie végétale.

CONCLUSIONS

Les climats méditerranéens de l'Aude sont plus difficiles à caractériser quand on examine les précipitations mensuelles brutes :

— Commune aux climats méditerranéens, la sécheresse estivale peut cependant sévir jusqu'à Castelnau-dary et même dans les Charentes (cf. P. GARENC, 1957), elle ne suffit donc pas pour définir un climat méditerranéen.

— De même on ne peut considérer le régime pluviométrique dédoublé comme un caractère méditerranéen puisque sur les bords même de la Méditerranée, il relève davantage d'un artéfact de calcul que de la réalité.

— Enfin l'irrégularité des précipitations ne peut être davantage retenue, car si elle est un trait marquant de la pluviosité sur le littoral, dans l'arrière-pays sur les versants soumis à une sécheresse périodique donc appartenant au domaine méditerranéen, les reliefs régularisent le régime pluviométrique.

**

Dans l'Aude, les climats méditerranéens se soumettent mal à une définition commune car ils résultent de l'interférence de facteurs météorologiques et stationnels divers :

— Sur le littoral, la sécheresse sévit une grande partie de l'année. Le climat méditerranéen littoral se caractérise par un déficit hydrique presque continu pendant le cycle végétatif.

— Dans l'arrière-pays, la sécheresse peut être aussi intense que sur la côte mais elle est strictement limitée à la période estivale. En sorte que chaque année, la vie végétale se trouve rythmée alternativement par un repos hivernal et une sécheresse estivale.

— Aux confins de l'Aude, en marge des régions océaniques, la succession d'années « humides » et

d'années « sèches » impose un premier rythme annuel. Pendant les années « sèches » la végétation affronte successivement une période froide en hiver et une période sèche en été ; alors que pendant les années « humides » la période sèche peut être éliminée. Les conditions de vie sont caractérisées par deux rythmes plus ou moins nets, l'un annuel et l'autre saisonnier.

— L'originalité climatique de la zone de transition réside dans la diversité de ses climats. Et malgré ce que montrent les données moyennes, peu représentatives, cette diversité ne résulte pas toujours d'une atténuation des caractères climatiques aux limites des régions climatiques contiguës, mais résulte plus souvent de l'opposition de climats différents sur une surface restreinte (B. THIÉBAUT, 1968 et A. BAUDIERE, 1970) comme le montrent les données brutes. Cette diversité a trois causes distinctes qui peuvent cumuler leurs effets (notamment en montagne) :

— une cause météorologique avec l'apport épisodique, au printemps et en hiver, de pluies d'origine océanique, d'où une succession d'années « sèches » et « humides » ;

— une cause géographique introduite par les reliefs et l'exposition des versants ;

— une cause stationnelle puisque les conditions de vie s'opposent à quelques mètres de distance selon les capacités de réserve du sol.

**

Lorsque l'on considère la région méditerranéenne française dans l'ensemble du monde méditerranéen, il est évident que les climats méditerranéens français occupent une position marginale :

« Etudiant le climat sur les limites où a lieu le passage des climats méditerranéens et non méditerranéens, j'ai montré que tout son territoire (il s'agit de la France), placé dans l'ensemble méditerranéen, est, par le régime relativement instable de sa pluviosité, et, par la pluviosité estivale, une région climatique de transition, caractérisée par sa sécheresse estivale toujours atténuée, moins accentuée que dans d'autres pays, tel que le Moyen-Orient, c'est-à-dire par une méditerranéité atténuée. Incomplète et atténuée, même dans ses parties les

plus méditerranéennes, tels sont les caractères écologiques de la région méditerranéenne française. Ces faits ressortent clairement, lorsqu'on met la France méditerranéenne à sa place naturelle dans l'ensemble du Monde méditerranéen. »

(L. EMBERGER, 1971 : 299).

Cependant, dans la région méditerranéenne française, le climat littoral s'individualise nettement des autres climats comme le montre l'étude réalisée dans le département de l'Aude. En effet, sur la côte méditerranéenne, la sécheresse est permanente tous les ans et plus ou moins continue pendant le cycle végétatif, ce qui n'est pas sans rappeler d'autres climats méditerranéens décrits autour de la Méditerranée ; alors que dans l'arrière-pays et les régions déjà océaniques, quand elle se manifeste, la sécheresse est un phénomène périodique strictement saisonnier. Pour cela il me semble difficile de ranger le climat méditerranéen littoral parmi les climats de transition, malgré sa position marginale et sa méditerranéité atténuée.

17 septembre 1973.

BIBLIOGRAPHIE

I. Documents météorologiques

- GARNIER (M.), 1967. — Climatologie de la France, sélections de données statistiques. *Mémorial Météo. Nationale*, n° 50, 1 col., 291 p. — Précipitations et températures moyennes ; période d'observation, 30 ans : 1931-1960.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DE L'AUDE, 1970. — Données climatologiques sur le département de l'Aude. Service d'agro-météorologie, 1 vol., 59 p. ronéo. — Précipitations et températures moyennes ; période de référence : 20 dernières années.
- Précipitations mensuelles brutes communiquées par le SERVICE RÉGIONAL POUR L'AMÉNAGEMENT DES EAUX DU LANGUEDOC-ROUSSILLON et par le LABORATOIRE D'HYDROLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC. Périodes variables selon les postes, entre 20 et 30 ans avant 1968.

II. Ouvrages consultés

- ARLERY (R.), GARNIER (M.) et LANGLOIS (R.), 1955. — Notice d'instructions techniques. Applications des méthodes de THORNTWHAITE à l'esquisse d'une description agronomique du climat de la France. Ministère des Travaux publics, des transports et du tourisme. Section XVII, pièce n° 10, 27 p.
- BAGNOULS (F.) et GAUSSEN (H.), 1953. — Saison sèche et indice xérothermique. Doc. cartes de productions végétales, Sér. généralités. Cartographie des limites écologiques. Article 8.
- BAGNOULS (F.) et GAUSSEN (H.), 1957. — Les climats biologiques et leur classification, 13 à 15. *Ann. Géogr.*, 355, LXVI^e année, mai-juin 1957.
- BAGNOULS (F.) et GAUSSEN (H.), 1964. — Les climats tropicaux et la végétation. *Adansonia*, IV (3), 262-268.
- BAUDIÈRE (A.) et EMBERGER (L.), 1959. — Sur la notion de climat de transition en particulier dans le domaine méditerranéen. *Bull. Serv. carte phytogéogr., série B*, carte des groupements végétaux, 4 (2), 95-117.
- BÉNÉVENT (E.), 1926. — Le climat des Alpes françaises. O.N.M. et E. Chiron, Paris, 14, 1-436, 90 fig.
- CABALLÉ (G.), 1969-70. — Approche bioclimatique du massif de la Clape. 28 p. ronéo., 25 fig., 5 tabl. h. t. Etude entreprise à la demande de la Mission interministérielle pour l'aménagement du littoral Languedoc-Roussillon.
- COUTAGNE (A.), 1941. — Déficit d'écoulement et indice d'aridité. *La Météorologie*, janv.-juin.
- CURÉ (P.), 1964. — Représentation synthétique des climats. Doc. cartes des productions végétales, série généralités, 3 (1), 55-114.
- DAGET (Ph.), 1972. — Cours sur la classification des climats, système de THORNTWHAITE. 19 p. ronéo.
- DEBRACH (J.), 1953. — Notes sur les climats du Maroc occidental. *Maroc médical*, 32 (242), 1122-1134, 5 tabl., 5 fig.
- EMBERGER (L.), 1942. — Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse* 77 (2), 97-124.
- EMBERGER (L.), 1955. — Une classification biogéographique des climats. *Rec. Trav. Labo. Bot. Géol. Zool. Fac. Sc. Univ. Montpellier*, 7, 3-45.
- EMBERGER (L.), 1971^t. — Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatiques et phyto-

- géographiques-écologiques. Article posthume, p. 291-301, in *Trav. de botanique et d'écologie*, volume jubilaire, 520 p., Masson et Cie.
- GARENC (P.), 1957. — Contribution à l'étude du climat d'entre Loire-inférieure et Gironde d'après des archives climatologiques inédites. *Mém. Météo. nat.*, **44**, 1197.
- GASTON (A.), 1962. — Etude phytosociologique et écologique du massif de la Clape. Thèse Fac. Sc. Montpellier.
- GAUSSEN (H.), 1949. — Projets pour diverses cartes du Monde à 1/1 000 000. La carte écologique du tapis végétal. Congrès international de géographie, Lisbonne.
- GIACOBBE (A.), 1949. — Le basi concrete per una classificazione ecologica della vegetazione italiana. Forlì, 1 vol. 188 p.
- GIACOBBE (A.), 1959. — Nouvelles recherches sur l'aridité dans les pays de la Méditerranée occidentale. *Natur. monsp., Sér. Bot.*, **11**, 7-28.
- GIACOBBE (A.), 1964-65. — La mesure du bioclimat méditerranéen. *Natur. monsp., Sér. Bot.*, **16**, 45-70.
- GIACOBBE (A.), 1967. — Le coefficient bioclimatique de productivité potentielle. *Oecol. plant.*, **2** (3), 183-216.
- JOLY (F.), 1957. — Note sur le calcul des indices de Thornthwaite. Institut scientifique chérifiens, laboratoire de géographie physique, 12 p. ronéo.
- LENOBLE (F.), 1934. — Sur la définition de la région méditerranéenne en géographie botanique et ses limites dans le SE de la France. *Bull. Soc. bot. Fr.*, **81**, 88-96.
- MARTONNE (E. de), 1925. — *Traité de géographie physique*. Vol. 1, 4^e éd. chapitre VI, 496 p., Paris, Armand Colin.
- PARDÉ (J.), 1964. — Indice climatique et production ligneuse. Académie d'Agriculture de France, proc. verbal du 15 avril 1964, 569-576.
- PÉGUY (Ch.-P.), 1970. — Précis de climatologie. 1 vol., 2^e éd., 468 p., 119 fig., 3 h. t., 20 tabl., Paris, Masson et Cie.
- REY (P.), 1957. — Le déterminisme écologique de la répartition des plantes méditerranéennes en Aquitaine. *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, **92**, 131-156.
- SAUVAGE (Ch.), 1963. — Etages bioclimatiques. Notices explicatives, 44 p., Atlas du Maroc, section II : physique du globe et météorologie.
- SCHNEIDER (H.), 1972. — Les précipitations sur la diagonale Gironde-Méditerranée. *Rev. géogr. Pyrénées et du Sud-ouest*, **43** (3), 295-313.
- THIÉBAUT (B.), 1968. — Bioclimatologie et cartographie de la végétation. La Salvetat-sur-Agoût (Hérault). Méthodes et critiques de la photointerprétation. Thèse 3^e cycle, Fac. Sc. Montpellier, 312 p. ronéo. + annexes.
- THIÉBAUT (B.), 1971. — La transition climatique dans le Massif de l'Agoût. *Vie et Milieu*, **XXII** (1C), 167-206.
- THIÉBAUT (B.), 1973. — Les hêtraies de la Montagne Noire (Monographie). 1^{er} fasc., 58 p. ronéo., Univ. sciences et techniques du Languedoc, Montpellier.
- THIÉBAUT (B.), 1972-73. — De la répartition du hêtre et du chêne sessile dans le Massif de l'Agoût. *Vie et Milieu*, **XXIII** (1C), 1-13.
- THORNTHWAITE (C. W.), 1948. — An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, **38**, 55-94.

FAUCHEUSE ROTATIVE VERTICALE POUR PRÉLÈVEMENTS QUANTITATIFS D'ALGUES LIBRES ET DE FAUNE EN MILIEU LAGUNAIRE

Marie-Luce de CASABIANCA

Station Marine d'Endoume et Centre d'Océanographie, Marseille (France)

RÉSUMÉ

1) *Aucun appareil connu ne permettant, en milieu lagunaire, d'effectuer des prélèvements quantitatifs d'algues libres et de faune par unité de surface, en vue d'évaluations quantitatives ultérieures et sans apporter de perturbation au milieu, il était nécessaire de réaliser un tel appareil en respectant les divers impératifs imposés par le milieu considéré.*

2) *L'analyse des matériaux possibles, des principes de coupe et de relevage de la prise, conduit à concevoir un appareil en acier inoxydable constitué de deux cylindres verticaux concentriques, terminés par des dents pénétrantes et tranchantes coupant par mouvements rotatifs et alternatifs lents et d'un couvercle amovible (au fond constitué d'un tamis) commandé de façon semi-automatique depuis la surface de l'eau.*

3) *La description des différentes parties de l'appareil qui est une faucheuse rotative verticale: cylindres extérieur, intérieur, systèmes de commandes, couvercle amovible, tige de guidage amovible, ainsi que leur fabrication sont données avec précision (plan côté et photos).*

4) *Le mode d'emploi est expliqué et illustré.*

5) *L'appareil donne pleinement satisfaction: il permet de prélever et de ramener intégralement à la surface, les algues et la faune contenues dans une colonne de 100 cm² de section et ayant pour hauteur la profondeur de l'eau, sans apporter au milieu de perturbations et par une commande entièrement effectuée depuis la surface de la lagune et sans visibilité du fond.*

ABSTRACT

A VERTICAL AND ROTATIVE MOWING-MACHINE FOR QUANTITATIVE SAMPLING OF FREE ALGAE AND FAUNA IN BRACKISH WATER PONDS

This new apparatus, meant to take off quantitative samples of algae and fauna in brackish water ponds, in order to calculate ulterior valuations, was executed in stainless steel and is made of two rotative cylinders ended by sharp and cutting teeth, of a removable lid

(with a semi-automatic drive) whose bottom is a screen, and of a removable central spindle for the guiding. This apparatus can sample and take out from the water the totality of the algae and fauna contained in a column of 100 cm² of section going down to the bottom of the water, without bringing any trouble in the surroundings, the apparatus being driven from the surface of the water (depth : 1 m).

Les lagunes saumâtres peu profondes, à niveau variable (40 à 100 cm), aux sédiments généralement vaseux et azoïques, présentent la particularité d'être envahies par d'importantes masses d'algues filamenteuses libres plus ou moins flottantes (figure 1) support essentiel d'une abondante faune d'invertébrés à dominance de crustacés détritivores. L'étude de la dynamique et de la production de cette flore et de cette faune nécessitait des prélèvements quantitatifs et par conséquent l'emploi d'un appareil permettant de prélever intégralement algues et populations suivant une colonne de section connue et intéressant toute l'épaisseur de la lagune, sans apporter au milieu de perturbation appréciable.



FIG. 1. — Zone Nord de la lagune de Biguglia (Corse) et bordiges de pêches. En blanc : algues macrophytes. (Photo infra-rouge noir et blanc).

Or, aucun appareil n'étant adapté à ce milieu particulier représenté par des algues libres, hormis la sonde conçue par PETERSEN (1911) et exécutée par GRØNTVED (1957), mais qui ne correspondait pas aux critères recherchés; il était donc nécessaire de concevoir un appareil répondant aux impératifs qu'exigent les évaluations, ainsi qu'à ceux imposés par le milieu lagunaire et qui sont énumérés ci-après.

— L'appareil devait être non corrodable au sel, solide, maniable, et fonctionnel au plus haut niveau

des eaux. L'étude des différents types de matériaux a conduit à choisir l'acier inox avec éventuellement des accessoires en matière plastique tournée et en caoutchouc synthétique; le poids total compatible avec le maniement pour un opérateur unique ne devait pas excéder 10 kg.

— L'appareil devait être adapté au milieu à prélever, essentiellement représenté par l'algue libre. *Chaetomorpha linum* qui forme un épais matelas constitué de filaments fins, durs et enchevêtrés les uns dans les autres de telle façon que la soustraction d'une poignée d'algue entraîne la distorsion à longue distance de l'ensemble du matelas. La manœuvre devait obligatoirement être effectuée depuis la surface de l'eau (barque) pour éviter toute perturbation du milieu (la pénétration de l'opérateur dans l'eau étant rendue impossible, au surplus, par le caractère vaseux des sédiments).

L'étude des différents systèmes de coupe a conduit à concevoir un système de coupe à deux lames fournissant à la fois l'action et la réaction. L'attaque du matelas d'algues se fera donc verticalement et selon une section suffisamment importante (100 cm²) par utilisation d'un appareil cylindrique à double denture concentrique pénétrante et tranchante (type faucheuse) permettant de sectionner par mouvements lents, tant dans le sens vertical de pénétration de l'appareil dans le matelas d'algues, qu'en ce qui concerne le cisaillement horizontal produit par une rotation de faible amplitude des mâchoires dentées. La forme des dents (du type faucheuse, mais avec angle plus faible), l'affûtage des dents et interdent (type ciseau), la dimension des dents et interdent, ainsi que l'ajustage à frottement doux des bagues d'acier inox tournés pour la taille des dents, ont été calculés pour assurer une pénétration optimale de la mâchoire dentée entre les filaments de l'algue et une coupe satisfaisante de ces derniers.

— La manœuvre de relevage de l'échantillon ne devant pas perturber la manœuvre de son découpage, il fallait prévoir un système de relevage commandé

depuis la surface de l'eau et sans visibilité du fond; ceci a été résolu par l'adoption d'un système de couvercle amovible commandé de façon semi-automatique depuis la surface.

II. — DESCRIPTION ET EXÉCUTION DE L'APPAREIL

L'appareil correspondant à cette conception est une faucheuse rotative représentée par le plan d'exécution coté (Fig. 2) et par les photos de l'appareil démonté et du détail des mâchoires (Fig. 3 et 4).

L'appareil se compose donc des éléments suivants :

a) *Un cylindre extérieur* clos à sa partie supérieure par une paroi (percée de 8 trous) sur laquelle est soudé un tube portant à son extrémité une poignée; le bas du cylindre porte la mâchoire extérieure dentée. L'ensemble cylindrique et tube supporte, par l'intermédiaire d'entretoises, une glissière qui servira au guidage du couvercle.

b) *Un cylindre intérieur* de construction générale identique, mais dont les 8 trous de la paroi supérieure sont doublés par un tamis (vide de maille : 0,2 mm) tenu en son centre par un écrou. Le tube soudé à la paroi supérieure de ce cylindre porte à son extrémité un filetage sur lequel se visse un levier perpendiculaire terminé par une poignée.

Au montage de l'appareil, ces deux cylindres s'emboîtent l'un dans l'autre de façon à ce que les mâchoires dentées soient en coïncidence. Les deux cylindres peuvent tourner l'un par rapport à l'autre, entraînant l'action de coupe des mâchoires.

Le mouvement de rotation des deux cylindres et de leurs mâchoires respectives l'une par rapport à l'autre devant se faire sans aucun « faux-rond » qui entraînerait des frottements parasites sur la denture, il a été prévu un palier de guidage à collerette aux deux extrémités des tubes, assurant un centrage parfait de l'ensemble, avec un jeu latéral du tube intérieur sur les paliers non mesurables. Le jeu longitudinal des tubes l'un par rapport à l'autre est réglé à une faible valeur, par la position du levier transversal, qui est vissé sur le tube intérieur et qui vient prendre appui sur la collerette du palier correspondant. La position

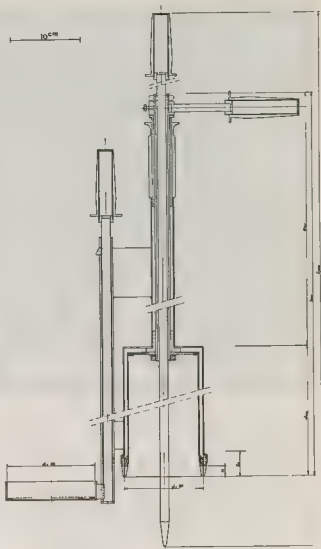


FIG. 2. — Plan d'exécution de l'appareil.

correcte est déterminée une fois pour toutes et se trouve assurée, au montage de l'appareil, par la présence d'une vis pointeau tombant dans une saignée longitudinale pratiquée dans le filetage du tube intérieur. Un contre-écrou de blocage, moleté, est vissé ensuite au-dessus du levier transversal, sur le même filetage, et assure la rigidité de l'ensemble, quels que soient les efforts auxquels il sera soumis.

Bien que l'appareil doive travailler dans une profondeur d'eau d'un mètre, les cylindres ont une

hauteur de seulement 40 cm, ceci afin de réduire le poids de l'appareil. Il en résultera à l'utilisation une légère compression des algues prélevées. Toutefois, le matelas d'algues n'atteignant jamais un mètre d'épaisseur, et la compression se produisant sur des algues déjà sectionnées et emprisonnées, cette légère compression n'offre aucun inconvénient.

L'épaisseur des cylindres et des tubes a été choisie pour respecter les impératifs de poids et de solidité, et varie, selon les pièces, de 1,5 à 2 mm.

Les mâchoires terminant les deux cylindres à leur partie inférieure 16 dents sur chaque denture. Elles sont taillées dans deux bagues de 6 mm d'épaisseur, ajustées à frottement doux; cette épaisseur est nécessaire pour que ces pièces puissent supporter un travail de tournage et, ultérieurement, de découpage des dents sans ovalisation appréciable.

Les bagues sont taillées en biseau sur leur partie inférieure, et ramenées, à leur partie supérieure, à une épaisseur correspondant à celle du cylindre à la base duquel elles seront soudées bord à bord.

Les dimensions des dents sont : 15 mm de haut, 10 mm de large, l'interdent étant de 10 mm. L'extrémité des dents est tronquée de façon à présenter une largeur de 2 mm. Les bords tranchants des dents sont affûtés selon un angle de 45°. Il en est de même de la partie tronquée et de l'interdent.

Le couvercle amovible. Le couvercle a une hauteur suffisante pour recouvrir largement la denture. Son fond est perforé de neuf trous et doublé d'un tamis (vide de maille : 0,2 mm) monté sur une couronne. Ce couvercle est soudé par l'intermédiaire d'une entretoise à une tige terminée par une poignée. Cette tige coulissera dans la glissière de guidage qui supporte le cylindre extérieur. Cette glissière cylindrique est constituée par un tube, comportant une fente longitudinale, assurant le passage de l'entretoise du couvercle et se terminant, en fin de course, par une butée limitant le mouvement de descente verticale de ce couvercle à une position légèrement plus basse que celle des dents. Dans cette position, la glissière de guidage est découpée de façon à permettre une rotation à 180° du couvercle, une seconde butée limitant ce mouvement de rotation de façon à amener

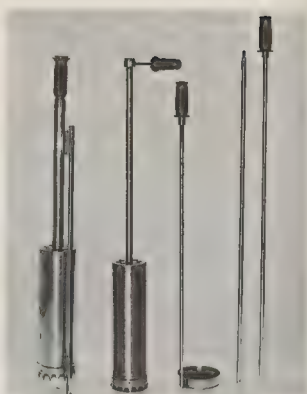


FIG. 3. — Appareil démonté (cylindre extérieur, cylindre intérieur, couvercle amovible et broche de guidage en deux parties).



FIG. 4. — Mâchoire et extrémité inférieure de la glissière du couvercle.

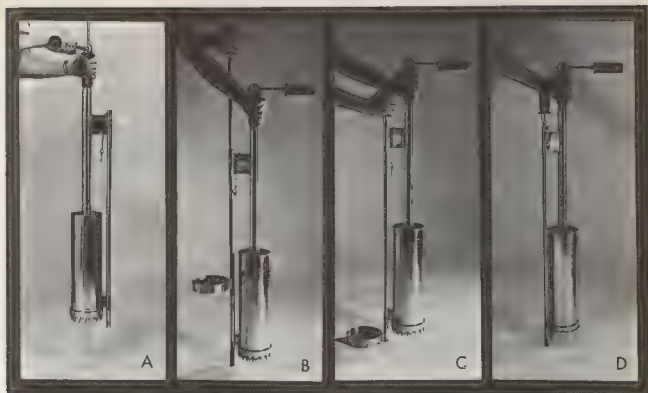


FIG. 5. — Mode d'emploi de l'appareil.

- A — La broche de guidage centrale étant plantée dans le fond de la lagune, l'opérateur fait descendre l'appareil en animant les mâchoires d'un mouvement rotatif et alternatif de faible amplitude, au moyen des poignées prévues à cet effet, ce qui provoque le cisaillement des algues sans perturbation appréciable du milieu.
- B — Lorsque l'appareil est parvenu au fond de la lagune, la broche de guidage est retirée. Elle sert alors à écarter les algues se trouvant au voisinage de la glissière du couvercle de façon à permettre la descente de celui-ci en eau libre.
- C — Quand le couvercle touche le fond, l'ensemble-cylindres est relevé d'environ 3 cm afin de permettre la rotation de 180° du couvercle et son emboîtement sur les mâchoires.
- D — Un verrouillage maintient le couvercle en place, et l'appareil est alors extrait de l'eau qui s'écoule par le fond du couvercle, emprisonnant ainsi la colonne d'algues qui faisait l'objet du prélèvement, soit 100 cm² de surface sur la profondeur de la lagune.

le couvercle exactement en-dessous des dents et à permettre de le remonter pour s'emboîter sur celles-ci, d'une manière quasi-automatique et sans visibilité de l'opérateur. Une goupille fixée au bout d'une chaînette et traversant la tige portant le couvercle, juste en-dessous de la poignée, permet de verrouiller l'ensemble.

La broche de guidage. La descente verticale de l'appareil lors de son utilisation sera assurée par une broche de guidage de 2 m de long couissant librement dans le tube inférieur, terminée à une de ses extrémités par une pointe mousse, qui sera enfoncée

dans le fond de l'étang, et à l'autre extrémité par une poignée.

De la conception même de l'appareil découle un démontage extrêmement facile et sans outillage particulier, puisqu'il suffit d'enlever le contre-écrou bloquant le levier transversal, de dévisser la petite vis pointeau, et de dévisser ce levier, libérant ainsi les deux cylindres et leurs tubes, les uns par rapport aux autres. Le poids calculé en fonction des matériaux utilisés est de $8 \text{ kg} \pm 5 \%$.

La fabrication de l'appareil. L'appareil est entièrement fabriqué en inox type NSMC, dureté 130-190

Brinell. Sa fabrication, exception faite de la mâchoire, n'a pas posé de difficulté majeure, mises à part les particularités que présente le travail de l'acier inox (soudure sous atmosphère d'argon). Seul un parfait ajustage des bagues a dû être exigé au tournage.

Il n'en a pas été de même de la taille des dents. En effet si la taille de denture du type faucheuse ne présente aucune difficulté à exécuter sur une lame rectiligne, il en est tout autrement quand il s'agit d'obtenir une mâchoire circulaire. Il n'existe aucune machine semi-automatique pouvant accomplir ce travail, qui se trouvait, au surplus, compliqué par le fait que, pour une bonne pénétration de l'appareil dans le matelas d'algues, il était indispensable que les interdent subissent le même affûtage que les dents elles-mêmes. Le problème a toutefois été résolu par l'utilisation d'une fraiseuse universelle à plateau circulaire et diviseur, la finition étant exécutée à la main.

Après réalisation de l'appareil, son poids est effectivement de 7,65 kg soit 4,5 % de moins que le poids calculé.

A l'issue des essais, il est apparu nécessaire de procéder à une légère mise au point portant sur les détails suivants.

1) La broche de 2 m primitivement prévue d'une pièce a été rendue démontable en deux morceaux de 1 m pour faciliter son transport ;

2) les paliers de guidage des tubes ont été remplacés par des paliers en teflon, tournés dans la masse, ce qui élimine la tendance au grippage de l'acier inox bien ajusté ;

3) le tamis qui garnit le fond du couvercle a été rendu amovible, aux fins de remplacement instantané sur le terrain en cas d'avaries. Pour ce faire, le

tamis, soudé sur une couronne de 2 mm d'épaisseur, est emboîté librement dans le couvercle. Un jonc de section carrée, monté sous contrainte dans le couvercle, maintient fermement le tamis en place ;

4) la lubrification grasse des pièces portantes (paliers et mâchoires) a été remplacée par une lubrification sèche : utilisation d'un aérosol déposant un film extra-mince d'antifricition à base de teflon et de vydax (Spruh mit Teflon, de Pampus - Germany).

Après mise au point, l'appareil correspond strictement aux conditions qui ont été imposées par le travail et le milieu prévu. Il donne entièrement satisfaction, assurant le prélèvement sans perturbation appréciable et sans pertes au relevage, des algues et de la faune contenues dans une colonne d'eau de 100 cm² de section sur un mètre de hauteur au maximum. Le poids de l'appareil est de 23,5 % inférieur au poids maximum accepté. Son transport ne pose pas de problème, le couvercle mis en place protégeant les dents contre les chocs éventuels et assurant la sécurité de l'utilisateur. Son utilisation, aussi bien que son démontage pour l'entretien est facile et sa solidarité est largement calculée.

LITTÉRATURE CITÉE

- GRONTWED (J.), 1957. — A sampler for underwater macrovegetation in Shallow Waters. *Journ. Cons. Intern. Expl. Mer*, **22** (3), 293-297.
- PETERSEN (C. G. J.) and BOYERSEN JENSEN (P.), cité par GRONTWED, 1957. — 1. Animal life of sea bottom its food and quantity. *Rep. Danish Biol. Stat.*, **22** (1), 1911.

TRIBUNE LIBRE

CRISE DE L'ÉNERGIE ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : QUELQUES ÉLÉMENTS DE RÉLEXION ET MORCEAUX CHOISIS.

Roland de MILLER *

RÉSUMÉ

La crise du pétrole, au delà des restrictions liées aux conflits politiques, pose les problèmes de la répartition des ressources mondiales, des limites et de la finalité de la croissance. La crise énergétique est le reflet des contradictions d'une société de gaspillage effréné. Malgré la prise de conscience des limites, les gouvernements et les industriels des pays riches cherchent à maintenir un taux élevé d'expansion industrielle, en particulier par la recherche d'une indépendance énergétique fournie par la fusion nucléaire. Cette forme d'énergie représente des risques biologiques et génétiques très graves pour l'homme et son environnement; elle constitue une industrie complexe, centralisée, très vulnérable, incontrôlable par les citoyens, anti-démocratique, aux investissements financiers extrêmement lourds et au bilan économique global négatif. Au contraire, l'utilisation des sources naturelles d'énergie et les technologies douces permettent la diversité et la variabilité des options de la société et la conservation d'un environnement diversifié et

agréable. La production d'énergie est un choix politique. Les gouvernements cherchent par des modifications superficielles à adapter l'économie aux nouvelles données du marché de l'énergie pour maintenir à tout prix la croissance. Les systèmes de valeur et les styles de vie doivent changer, le gaspillage et la course à la consommation doivent cesser, les occidentaux doivent réduire leur niveau de vie élevé qui repose sur le pillage des ressources du Tiers Monde; des reconversions doivent s'opérer dans tous les secteurs de l'économie. La crise du pétrole n'était qu'un timide avertissement: nous devons abandonner notre économie aliénante dominée par le profit et la croissance aveugle, pour instaurer une économie de moindre inégalité en équilibre avec la nature. Les écologistes doivent se coaliser en un mouvement radical et non sectaire contre l'idolâtrie infantile de l'expansion indéfinie qui condamne la nature.

SUMMARY

The oil crisis leads to face the limits to growth and to question the availability of resources. Citizens and consumers must be aware of the duplicity, deceit, manipulation, and what is virtually a conspiracy by the energy industry to exploit . . . if not actually create . . . an « energy crisis ». The oil shortages for which the oil companies are responsible is intended to promote research and construction in nuclear energy plants, shale oil and extensive offshore drilling. Governments and industries have decided massive investments in

nuclear power plants in spite of the enormous biological and genetic hazards and in spite of public protests. This choice leads to a highly centralised, deshumanised, atomised society manipulated by technicians and bureaucracies. Our profit-oriented capitalistic society is based on production and consumption for its own sake. We can solve the permanent energy crisis only with fundamental changes in society: a society that is no longer based on productivism, planned obsolescence and corporate greed but on a complete reworking of its social

(*) Diogène Groupe de Réflexion sur l'Homme, la Nature et l'Expansion (Cellule parisienne) Adresse personnelle: 204, rue Vangirard, Paris 15°.

ends, a rediscovery of human needs, of the existence of nature and of ethical imperatives. Technology offers no short — or medium — term solutions to the « energy crisis »: so demand must be curtailed, squandering must be banned and architectural and urban gigantism too. Fools are not those who try to develop

soft technologies and ecologically sound sources of energy in decentralised rural communities. Environmentalists must struggle against those who seek to maintain blind economic growth, increased consumption of energy, massification of society and domination of the individual; ecology is linked with social revolution.

Voilà qu'au milieu de l'euphorie de la croissance économique, la perspective change brusquement : il a suffi pour cela que les « rois du pétrole » annoncent qu'ils allaient restreindre leurs livraisons et augmenter les prix de « l'or noir » pour que le désarroi s'empare de l'économie, malgré un certain optimisme affiché par les dirigeants.

Il serait erroné de ne voir dans la crise du pétrole qu'une péripétie du conflit entre Arabes et Israéliens. Les pays producteurs de pétrole savent qu'ils détiennent là un produit rare et qui ne durera pas longtemps. Sur la durée des réserves mondiales du pétrole, les évaluations des experts fournissent une fourchette raisonnable, 25 à 60 ans, et seul un optimisme à toute épreuve peut faire croire qu'il y a du pétrole pour un siècle au rythme actuel de la consommation. En tout état de cause, les réserves sont *limitées*, elles ne sont pas éternelles. Et, dès maintenant, elles sont aléatoires.

Dans tous les milieux politiques, la crise du pétrole a eu l'effet d'une bombe, obligeant enfin à admettre cette vérité première : la croissance économique indéfinie est une absurdité monstrueuse, un cancer de l'humanité. Du coup *tous* les programmes électoraux aux alléchantes promesses, — de droite, du centre comme de gauche —, ont perdu leur principal et illusoire ressort : la déesse *Expansion*.

Pourtant, les avertissements n'avaient pas manqué : rapport du M.I.T. (Institut de Technologie du Massachusetts), travaux du Club de Rome (personnalités scientifiques et industrielles), appels angoissés de SICO MANSHOLT, de Georg PICHT (Conseiller scientifique du chancelier Willy BRANDT), d'Ivan ILICH et de nombreux autres savants et philosophes. Et

aussi le simple bon sens, suffisant à qui réfléchit sans œilleries et sans dogmes. N'importe : les uns n'y voyaient qu'un « complot capitaliste », beaucoup étaient incrédules, voire goguenards, d'autres, yeux fermés et oreilles bouchées, préféraient le confort de l'ignorance.

Aujourd'hui, tous sont bien ennuyés. De nous avoir jetés dans une si dangereuse impasse ? Mais non, voyons... seulement d'avoir des choses désagréables à dire à leurs électeurs !...

Au delà de l'épisode de l'embargo temporaire sur le pétrole, dont les firmes pétrolières ont largement tiré profit par la hausse des prix, la crise de l'énergie est en réalité permanente depuis le début des années soixante, dans nos sociétés industrielles surdéveloppées. Et même la gauche, à l'occasion, vole dans les plumes de ceux qui s'occupent de protection de l'environnement parce qu'elle est coincée : son projet social exige le même type de consommation d'énergie que celui imposé par la société capitaliste actuelle.

« Le monde a si peur de manquer d'air et d'énergie que les propositions apparemment les plus folles méritent peut-être de ne plus être écartées d'un revers de main ». (« Le Monde » du 1^{er} novembre 1973). Les fous ne sont donc pas ceux qui construisent ou projettent des maisons solaires ou des cargos à voile. Ce sont ceux qui cherchent à encore accroître notre dépendance envers les produits pétroliers : les partisans du développement des autoroutes, des supersoniques, des raffineries nouvelles. A quoi serviraient, dans peu de décennies, ces constructions dans lesquelles on aurait engouffré tant d'argent et surtout tant de travail humain ? Sont-ils des « sages » ceux qui freinent le développement des transports en

commun et qui ferment les lignes de la S.N.C.F., alors que du point de vue énergétique l'efficacité de propulsion du rail est quatre fois supérieure à celle de la route ?

Quant à la situation énergétique en général, voici le titre par lequel le mensuel américain « *Not Man Apart* » résume fidèlement un rapport fait au début de 1973 par la Rand Corporation pour l'Etat de Californie : « LA TECHNOLOGIE N'OFFRE AUCUNE SOLUTION A COURT OU MOYEN TERME A LA CRISE ÉNERGÉTIQUE : IL FAUT LIMITER LA DEMANDE D'ÉNERGIE ».

La crise de l'environnement, dont la pollution n'est qu'un des aspects, nous incite, pour cette consommation modérée, à rechercher des sources d'énergie qui soient diversifiées, propres, durables et contrôlables par leurs usagers (c'est-à-dire qu'elles assurent non seulement l'indépendance énergétique nationale, mais aussi celle des citoyens face au gigantisme industriel et à la centralisation étatique). Ce sont le rayonnement du soleil, le cours de l'eau, le souffle du vent, la chaleur de la terre, le mouvement de la mer, etc. Nous ayant fait découvrir l'existence des « coûts externes », cette crise nous apprend aussi qu'il faut nous débarrasser de nos idées courantes sur la rentabilité. Il se peut qu'une maison solaire (ou 20 cargos à voile, ou 40 installations géothermiques, ou 500 éoliennes) soit plus « cher » qu'une maison chauffée par le mazout ou par l'E.D.F. Mais ces techniques « douces » n'entraînent pas de coûts externes : pollution, marées noires, surcroît de radioactivité, gestion des déchets nucléaires. Destinés par leur nature à durer longtemps et à n'entraîner dans leur fonctionnement que de minimes frais d'entretien, les dispositifs de captation des énergies naturelles doivent être vus comme des investissements à long terme. Notre structure sociale permet-elle de tels investissements ?

Honnêtes ou hypocrites, les hommes politiques et les aménageurs entretiennent l'illusion d'un compromis possible entre l'industrialisation et le respect du cadre de vie, entre l'expansion économique et la qualité de la vie. C'est un leurre qui nous amènera à sacrifier toujours plus d'espaces natu-

rels, de rivières propres, de paysages ruraux équilibrés, de liberté humaine et de paysans expulsés ou déracinés.

L'actuelle crise de l'énergie vient de nous faire comprendre la fragilité d'un développement économique basé sur des ressources énergétiques non-renouvelables. Le public, qui a la mémoire courte, devrait se souvenir que les écologistes ont depuis bien longtemps attiré l'attention sur les dangers d'un développement urbain et industriel basé sur des ressources énergétiques non-renouvelables, limitées et polluantes.

Il n'y a pas de ressources illimitées. Seuls les profiteurs ont intérêt à prétendre le contraire et il y a des naïfs pour les croire.

Le problème de la croissance n'est pas tant de savoir si les ressources minérales et énergétiques vont manquer mais surtout de protéger les ressources naturelles infiniment plus précieuses que sont les espaces naturels, la faune et la flore, les forêts intactes, les rivières propres, l'espace libre et en définitive la liberté de jouir de la nature sauvage.

La consommation croissante d'énergie peut être critiquée au moins de trois points de vue : du point de vue économique, nous allons manquer d'énergie; du point de vue écologique, nous abusons déjà de l'énergie. Enfin du point de vue social, comme le montre Ivan ILLICH dans « *Energie et équité* », on en est venu à confondre le progrès avec la consommation d'énergie et le véritable progrès social recule en fonction de la consommation d'énergie.

Les technocrates, entraînant dans leur sillage idéologique, une grande masse de la population, ont réagi à la crise de l'énergie par la question « Comment pouvons-nous continuer à produire davantage ? » alors que la question véritable est « Comment pouvons-nous commencer à consommer moins ? ».

Ceux qui font une publicité tapageuse et indécente pour une consommation accrue d'électricité veulent nous persuader de la fatalité de recourir à l'énergie nucléaire dans un avenir plus ou moins proche. Mais voyons clair :

1) Nos besoins énergétiques au lieu de « doubler chaque décennie » comme on essaie de nous le faire croire, seront fortement marqués par des facteurs limitants liés à la crise écologique actuelle.

2) Si l'on se donnait la peine de le résoudre complètement, le problème de la production d'énergie s'effacerait. En effet des sources énergétiques inépuisables et absolument inoffensives sont à notre disposition (énergie solaire, géothermique, éolienne, gaz de paille, etc...). Leur seul défaut est leur complète ou quasi-complète gratuité d'où l'absence d'intérêt auprès de la grande finance et par conséquent le faible écho de la presse.

Elles ont été négligées au profit de l'exploitation plus commode du charbon (dont les réserves suffisent probablement pour des siècles) et plus récemment par l'exploitation plus profitable (toujours pour la grande finance) du pétrole. Les combustibles fossiles peuvent aussi être brûlés d'une façon tout à fait propre si l'on veut que la perfection technique prime sur la rentabilité économique. En fait tout à l'inverse de la publicité des atomistes, c'est l'uranium dont les réserves risquent d'être le plus vite épuisées !

La question la plus grave est celle des vraies finalités : même si telle source d'énergie pouvait être « propre », n'est-il pas certain que tout accroissement de l'énergie dans le monde doit obligatoirement contribuer à créer de nouvelles perturbations de l'environnement ? Qui y songe ?

De toute manière, la consommation effrénée d'une énergie, même non polluante, ne ferait qu'aggraver la situation écologique par la consommation de nature qu'elle ne manquerait pas d'entraîner.

Il faut que les solutions qui fourniront l'énergie de demain soient orientées de façon à préserver la nature et à combler le fossé entre les riches et les pauvres, au lieu de le creuser davantage. L'énergie nucléaire artificielle, avec sa technologie extrêmement lourde, ne pourrait constituer qu'un moyen supplémentaire de colonisation économique. En revanche, la libération des pays dominés exige le développement de « techniques douces » au pre-

mier rang desquelles il faut placer une certaine façon d'utiliser l'énergie solaire, particulièrement abondante dans la plus grande partie du Tiers Monde.

La seule solution définitive à la crise de l'énergie serait d'économiser et d'utiliser pour le bien des hommes toutes les sources naturelles d'énergie, à commencer par le soleil et la lumière, la force des vents et des eaux, la chaleur de la terre et des eaux.

Des crédits importants doivent être — auraient déjà dû être — affectés à la recherche et à la mise au point de vue techniques nouvelles et non polluantes sur le plan de la consommation et de la production de l'énergie (qualité de l'habitat, isolation thermique, par exemple; production d'énergie solaire, géothermique, éolienne...).

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Il apparaît au contraire, que nos gouvernants ont choisi de nous engager massivement et exclusivement dans un programme très lourd d'équipement nucléaire, au point de prévoir que la totalité de l'électricité produite en France proviendra bientôt de l'énergie nucléaire de fission. Ce choix est hasardeux. Si certaines des formes de fission nucléaire (surgénérateurs ?) sont peut-être durables, elle n'est pour l'instant ni propre, ni contrôlable par ses usagers.

Sur la propreté, résumons le rapport de la Rand, qu'on ira pas accuser d'être un nid de rêveurs ou de révolutionnaires. Dans la perspective d'un développement nucléaire rapide, la surveillance des déchets radioactifs accumulés « implique un engagement pour ainsi dire perpétuel de notre société ». Les effets écologiques et climatiques de la pollution thermique créent « la possibilité de provoquer une chaîne irréversible d'événements aux très graves conséquences ». Enfin, les systèmes de refroidissement de secours au cœur des réacteurs (« E.C.C.S. ») sont loin d'être au point.

Quant au contrôle des citoyens sur une industrie aussi complexe et secrète que le nucléaire, il n'est que de voir la procédure suivie en France pour implanter les centrales nucléaires, au mépris de l'information et de la consultation des populations concernées. Notons à cet égard qu'aux Etats Unis, en Suède, le débat est national et le développement nucléaire est sérieusement freiné.

Il est possible, mais peu probable, que les difficultés de « propreté » soient un jour surmontées. Il se peut aussi que la problématique fusion thermonucléaire contrôlée offre un jour des perspectives plus encourageantes. Mais ce sont là des *paris*. Avec le pétrole et l'automobile (et les insecticides chimiques, l'urbanisation à outrance...) on nous a engagés dans tant d'impasses dont il va être très difficile de se dégager, que nous tenons, cette fois, à éviter la probable impasse de la fission nucléaire.

La politique nucléaire de la France, qu'elle soit dite « pacifique » ou guerrière, nie dans un cas comme dans d'autres, la réalité de tout danger écologique et refuse au citoyen tout droit à l'information objective puis à la décision démocratique.

Les travaux scientifiques récents sur les effets biologiques des rayonnements ionisants sont en contradiction flagrante avec les propos « rassurants » et l'optimisme de commande qui est de rigueur dans les milieux officiels. Aucun biologiste n'a encore pu affirmer qu'une augmentation, même minime, de la radio-activité ambiante ne serait pas dommageable pour l'avenir génétique des espèces vivantes.

Indépendamment des énormes risques biologiques et génétiques, soulignons que la France s'engage certainement dans une impasse économique en misant tout sur le nucléaire : c'est encore le piège d'une « monoculture énergétique » qui, a moyen terme, conduira aux mêmes impasses économiques que la pénurie de pétrole. L'écologiste sait qu'un système est d'autant plus souple et stable qu'il est plus adapté et diversifié.

L'énergie nucléaire présente outre ses dangers plus ou moins connus, un bilan énergétique global

négatif. Les diverses étapes de l'industrie nucléaire, depuis l'extraction du minerai radioactif jusqu'au retraitement des combustibles irradiés et la gestion des déchets radioactifs, consomment au total davantage d'énergie que l'énergie électrique mise à la disposition du public. Il est urgent que le bilan énergétique global de l'industrie nucléaire soit enfin porté à la connaissance du public. Seul un bilan positif justifierait — du seul point de vue énergétique — le remplacement du pétrole par l'atome.

L'orientation de la production d'électricité vers le nucléaire ne fera qu'accroître la pénurie mondiale d'énergie, tout en augmentant la déchéance radioactive des êtres vivants, la contamination des chaînes alimentaires et du milieu naturel, et les graves risques de catastrophes nucléaires.

Il importe de bien situer les responsabilités des promoteurs de l'atome et de tous ceux qui propagent les arguments fallacieux du « paradis de la consommation énergétique » grâce à l'énergie nucléaire.

1. Les centrales nucléaires sont contrôlées par une minorité qui possèdera, lorsque notre énergie dépendra uniquement de l'atome, un pouvoir de pression énorme.

2. C'est une poignée de technocrates qui décide pour le reste de la population de l'implantation d'une centrale nucléaire.

3. Les centrales nucléaires signifient centralisation policière et militaire et impossibilité d'auto-gestion : pour éviter les risques d'accidents et de sabotages, les pouvoirs, les contrôles et la police sont renforcés.

Au contraire, la finalité de la politique énergétique doit être démocratiquement discutée et déterminée.

L'usine de séparation isotopique dont l'installation est prévue à Tricastin près de Pierrelatte coûterait 7 milliards. Si la fission nucléaire s'avère être une impasse, ce seraient 7 milliards de perdus... un super La Villette en quelque sorte. Avec ces 7 milliards combien pourrait-on financer de dispositifs solaires, de navires à voile, d'éoliennes ou de recherches sur l'énergie magnéto-hydrodynamique...

autant de procédés modernes, variés, légers, et donc susceptibles de corrections et d'améliorations ? L'avenir énergétique est dans la modération et le raffinement, la diversité et la décentralisation.

DES CHOIX POLITIQUES

Ces choix de type d'énergie sont au premier chef des choix politiques. La conversion vers des sources d'énergie naturelles et des techniques douces et légères est pour nous inséparable d'une option décentralisatrice et autogestionnaire de la société et de la création de petites communautés rurales semi-autarciques et favorisant l'épanouissement de l'individu. Il va maintenant falloir se battre contre les monopoles qui voudront faire de la captation des énergies naturelles une entreprise centralisée avec de gigantesques stations solaires et « récupérer » un mouvement culturel libérateur dans le cycle infernal du profit, des brevets et des monopoles du savoir. Le mouvement écologique a de solides attaches avec les mouvements autogestionnaire et communautaire.

Il faut bien se méfier, car une nouvelle technologie ne créera pas un nouvel homme. Bien avant de développer des sources d'énergie non polluantes et des technologies douces, ce qui importe c'est la décision de vivre autre chose, de changer de style de vie, de renoncer au mode et au rythme de vie occidental. Les défenseurs de la nature doivent, pour être crédibles, gagner en cohérence : bien peu se soucient de leur nature à eux, de leur corps, de leur santé (pollution médicamenteuse !), de la qualité biologique de leur alimentation, d'une faible consommation et d'un recyclage des matériaux. La crise permanente de l'énergie et de l'environnement doit nous inciter volontairement à des changements radicaux de notre style de vie quotidien — c'est-à-dire à la recherche des richesses de la « vie pauvre » (1) plus conforme aux conditions écologiques que le mode de

vie occidentale, gaspilleur et malsain. Si nous voulons une autre société, il faut que nous commencions nous-mêmes par être autre, différent, et vivre ces nouvelles valeurs.

Nous devons en venir à une critique radicale de la marchandise, du gadget et de l'idéologie de la consommation. Car à force de produire en masse le superflu, c'est l'essentiel qui devient rare. « Nous sommes à la recherche de fins pour notre surplus de moyens » : c'est la question essentielle de l'échelle des valeurs et du devenir de la personne humaine.

Il n'y pas eu pénurie physique ou épuisement des sources d'énergie. Il y a simplement eu un embargo momentané sur le pétrole pour créer dans l'opinion mondiale une situation de « crise », où les prix du pétrole ont augmenté considérablement. Les compagnies pétrolières grandes maîtresses du jeu mondial et véritables responsables de toute la crise de l'énergie, ont réussi leur habile manœuvre : face au nouveau système des prix du pétrole, les nouvelles techniques d'exploitation de l'énergie (forages off-shore sur le plateau continental, schistes bitumineux, avant-ports pétroliers, fission nucléaire, etc...) jusque là trop coûteuses sont maintenant devenues rentables et compétitives. Il suffit pour s'en convaincre, de constater l'énormité des bénéfices réalisés par les compagnies multinationales monopolistiques qui contrôlent la construction des centrales nucléaires présentées comme la seule façon de faire face aux besoins croissants...

Nous pouvons constater que le Gouvernement français n'a tiré aucune leçon de la crise de l'énergie concernant les finalités de la croissance. L'objectif du pouvoir reste invariablement le même : produire pour consommer et consommer pour produire. La substitution progressive de l'électricité d'origine nucléaire aux hydrocarbures est donc uniquement une modification dans les moyens techniques de la croissance. Pouvait-on sans naïveté, attendre autre chose de ce pouvoir ? Tout démontre qu'il n'a pas de projet économique, ni de projet politique autre que celui de conserver les rênes et que le respect de l'environnement n'est en aucune façon une contrainte mutagène mais l'alibi littéraire et

(1) Les Enfants d'Aquarius : *Manuel de la Vie Pauvre*. Collection Vivre. Ed. Stock, 2, Paris, 1974, 278 pages.

hypocrite d'une industrialisation effrénée. Dès lors, le plan Énergie du Gouvernement peut intéresser les chefs d'entreprise, car il vise à assurer le maintien de la croissance de type capitaliste, mais il n'intéresse guère l'ensemble de la population qui attend précisément la reconversion radicale de cette croissance dans le sens de l'intérêt collectif.

Depuis 1970, le gouvernement et les trusts pétroliers américains ont baptisé « crise de l'énergie » une situation dans laquelle ils ne sont plus assurés de pouvoir satisfaire tous leurs caprices. Mais la véritable crise, c'est que la boulimie des riches et des pays industriels prive les pauvres des ressources auxquelles ils ont droit, en détériorant de plus en plus les chances d'un développement authentique et libérateur des pays pauvres. Le pillage des matières premières du Tiers Monde est l'une des constantes de la course des impérialismes à l'énergie et à la puissance.

L'augmentation des prix de l'énergie ne va pas tarder à exercer la pression de la pénurie alimentaire sur le tiers-monde et sur le quart-monde. En plus de la crise de l'énergie, et comme corollaire de celle-ci, nous nous acheminons rapidement vers une crise mondiale de l'alimentation surtout en raison de la voie aberrante qui a été proposée ces dernières années aux pays sous-développés : celle de la « révolution verte » qui signifie une culture intensive dépendant d'une forte consommation d'énergie. Dans ces conditions, plus que jamais l'agriculture biologique, (utilisant, entre autres, les fermentations bactériennes de l'humus, le compost convenablement préparé, les associations végétales, les engrais naturels locaux et les plantes répulsives contre les insectes) est véritablement la solution technique la mieux adaptée au Tiers-Monde, tout comme d'ailleurs à nos pays industriels.

Par ailleurs, pour le Tiers-Monde, il est vital de promouvoir une nationalisation des ressources non renouvelables ou plutôt une socialisation des ressources, car le temps des états-nations jouissant d'une souveraineté sans limites est dépassé et il faut en tenir compte dans notre langage encore imprégné de nationalisme. Les problèmes de l'énergie sont

tellement liés (ressources limitées, économie et approvisionnement, qualité de l'environnement...) que l'on ne peut pas résoudre un problème sans résoudre *ipso facto* les autres. Aucun pays ne peut résoudre seul ces problèmes. D'où l'importance d'une initiative comme la Déclaration de Dai Dong sur la Crise de l'Énergie qui affirme la nécessité d'une politique mondiale de l'énergie et d'une solidarité humaine transnationale : cette déclaration est ouverte à la signature du plus grand nombre de personnalités.

Il n'y aura pas de solution à la crise de l'énergie dans le Tiers-Monde sans une coopération à un niveau rarement atteint, si jamais il l'a été, par la communauté internationale. Si une telle coopération devait faire défaut, c'est à un désastre tout aussi vaste que nous pourrions assister.

Faute d'un sentiment communautaire, planétaire, assez fort pour imposer les mesures internationales, mondiales devenues urgentes dans le domaine de la conservation de la nature et des ressources naturelles, les rusés et les « raisonnables » continueront à taxer ces mesures d'utopie et d'idéalisme.

Il y a rareté des matières premières mais non pas épuisement à proprement parler. Il n'y a pas plus de pénurie qu'il y a deux ou dix ans mais simplement on s'est aperçu soudain du caractère très limité des ressources par rapport au gouffre de la consommation industrielle. La rareté des matières premières est autant un phénomène psychologique qu'une réalité matérielle et tangible. Un autre phénomène récent est l'accroissement de conscience des pays sous-développés qui se sont aperçus de l'importance critique des matières premières dont ils disposent.

« Nous vivons dans une période de Grande Bouffée énergétique qui sera probablement un festin sans autre lendemain qu'une intense gueule de bois ». Chaque européen a consommé en 1970, 36 000 kwh d'énergies variées, ce qui correspond à l'exploitation de dizaines d'esclaves mécaniques. Chaque américain en a consommé environ trois fois plus, mais est-il trois fois plus heureux que l'européen de l'Ouest et sommes-nous deux fois plus heureux que les

français de 1963, qui consommaient deux fois moins d'énergie que nous ?

Si l'on réduisait de 2 % la croissance économique française et si l'on établissait un accord charbonnier européen, il est certain que la France ne connaîtrait aucun problème énergétique, non pas avant 30 ans, mais avant 60 ans.

Le plus grave dans cette crise, c'est que les tenants de la technostucture nous imposent un choix entre le chaos et le système : c'est pour faire face aux catastrophes écologiques et aux revendications sociales, la dictature du techno-système (1). La généralisation de l'informatique aux dépens de la vie privée et de la liberté des citoyens, l'orientation quasi-exclusive de la production d'électricité d'origine nucléaire, et la concentration de millions d'humains dans les zones urbaines ne sont que trois exemples parmi d'autres de cette tendance plus qu'inquiétante au « technofascisme », à la concentration du pouvoir dans les mains des technocrates, concentration qui est liée à une société centralisée et policière, hiérarchisée et déshumanisante.

METTRE FIN AU GASPILLAGE

Enfin pour les pays riches, il existe une source considérable d'énergie parfaitement négligée jusqu'ici et qui vient subitement d'être découverte par les dirigeants de ces pays, sous la pression des événements, c'est *l'énergie gaspillée*. Par exemple, on s'aperçoit qu'aux Etats Unis, à cause de la climatisation électrique des habitations et des bureaux, la consommation d'énergie culmine en été; c'est-à-dire qu'une énorme quantité de pétrole est brûlée pour lutter contre l'énergie solaire. Cependant qu'en France le service public chargé de la production et de la distribution de cette énergie fait une publicité intensive, pour ne pas dire indécente, pour promouvoir le tout électrique et pousser à la consommation. On découvre aussi que la voiture individuelle con-

somme beaucoup plus d'énergie que le train, par passager-kilomètre et on recommande depuis peu aux bons citoyens d'utiliser le moins possible les autoroutes qu'on s'est glorifié de construire et de leur préférer les trains qu'on s'est efforcé de supprimer. On recommande aux jeunes de ne pas abuser de leurs mobylettes, grandes consommatrices d'essence paraît-il, cependant qu'on continue à construire le Concorde qui en brûle 60 tonnes à chaque voyage. Et tout est à l'avenant. En fait, il ne s'agit pas là d'anomalies ponctuelles, le gaspillage est bel et bien devenu une institution : c'est le moteur indispensable d'une économie en perpétuelle expansion comme l'a démontré l'américain VANCE PACKARD dans son livre déjà classique : « L'Art du Gaspillage ». Le plus monstrueux des gaspillages est sans conteste le détournement de l'énergie à des fins militaires : le gouffre colossal des armements. Le niveau de vie élevé des européens est inacceptable au plan mondial : notre prospérité et notre opulence reposent sur le pillage et l'exploitation du Tiers-Monde. Jamais la différence entre le niveau de vie des riches et des pauvres n'a été si grande, et elle est en train de s'accroître. Les riches incitent les pauvres à demander le même niveau de vie, le même type de développement et de consommation que ceux des riches.

Une société d'où l'on bannit le gaspillage a moins de problèmes d'emploi. Ce qui est difficile, c'est le passage de notre situation absurde à une situation rationnelle. Mais plus on attendra, plus ce sera dur.

RECONVERSIONS FONDAMENTALES

La « crise de l'énergie » n'aura été en fait qu'une très relative pénurie de pétrole avec une forte augmentation des prix, largement provoquée par les sociétés pétrolières qui, de toutes façons, au-delà des péripéties politiques, cherchent à travers les nouvelles orientations techniques et économiques le contrôle sinon le monopole de l'énergie.

Face à ce pouvoir d'adaptation tentaculaire des trusts capitalistes, la lutte sera dure à mener.

(1) Cf. Bernard CHARBONNEAU : *Le système et le chaos*; critique du développement exponentiel. Editions Anthropos, Paris 1973, 413 pages.

Il faut dès aujourd'hui se donner les moyens d'aboutir progressivement à une stabilisation de la production industrielle et de la population. L'abandon des incitations natalistes et la libération des moyens de contraception permettent d'aboutir rapidement sans contrainte, à une croissance démographique nulle, les transferts de population devant par ailleurs cesser.

La production industrielle qui consomme plus de 80 % de l'énergie doit être complètement réorientée de façon à être strictement soumise aux possibilités de production d'énergie non ou peu polluante.

La survie de l'homme doit passer avant la course à la production. La réduction de la production et de la consommation d'énergie est en même temps une réduction de la pollution. Si l'économie industrielle occidentale basée sur le pétrole et ses dérivés commençait par changer son fusil d'épaule, un grand pas serait fait dans la désescalade de la pollution généralisée de notre cadre de vie.

Tout cela ne se fera pas sans « reconversions déshumanisantes », grincements et larmoiements. Mais nous n'aurons à nous en prendre qu'à nous-mêmes si, trop longtemps, nous nous sommes laissés piéger.

Et puisque cette crise était inévitable, quelle chance qu'elle intervienne suffisamment tôt, quand il est encore temps d'y survivre et de « raison retrouver ».

Car en définitive le problème n'est pas de savoir s'il y a ou non des limites à la croissance et à l'abondance mais si la reconnaissance de ces limites servira à des fins de réaction ou de révolution : inutile de replâtrer les brèches d'un système condamné, c'est déjà maintenant dans les ruines et le chaos qui ne font que commencer, le monde de demain qu'il nous faut découvrir et fonder.

La crise du pétrole est un avertissement. Saurons-nous saisir cette occasion et opérer les reconversions fondamentales nécessaires avant qu'il ne soit trop tard ?

La crise de l'énergie *pourrait* être une chance pour faire table rase des erreurs passées et créer une société réellement civilisée une société qui promette aux O.S. et manœuvres des chaînes de montage,

aux mineurs cancéreux de Lorraine et aux Parisiens entassés dans les métros et trains de banlieue, infiniment plus d'espoir créateur que le cauchemar conformiste, pollué et déshumanisé qui leur est encore offert comme seule espérance de « progrès ». L'illusion d'un paradis industriel et énergétique nous mène vers un monde de plus en plus infernal.

Si les gouvernements des nations industrielles partageaient sincèrement l'angoisse du futur que ressentent de plus en plus de gens, (au lieu de rassurer, de tromper et d'aliéner le public avec des promesses d'eldorado de luxe et de confort électrique par exemple), on aurait déjà entrepris une transition ordonnée et pacifique vers ce type de société. Mais rien n'est fait officiellement dans ce sens.

A chacun de tirer ses propres conclusions.

La crise de l'énergie ne sera donc résolue ni par la découverte de super-gisements de pétrole ou de gaz, ni par la construction de super-centrales électriques, ni par tout autre moyen destiné à maintenir de plus en plus artificiellement la croissance de la consommation pour une minorité de privilégiés. La crise de l'énergie ne sera résolue que par le remplacement de notre actuelle économie de croissance, de profit et de gaspillage par une économie d'équilibre, de choix et de partage équitable. Au niveau individuel, elle ne sera résolue que par le passage de la concurrence à la coopération, de la rivalité à la solidarité. Parviendrons-nous jamais à séparer enfin le « progrès » (mais le vrai) du mythe de la « croissance » ?

ÉCOLOGIE ET RÉVOLUTION

L'idolâtrie infantile de l'expansion indéfinie est fortement enracinée dans la mentalité collective bien au-delà de sa poursuite comme moyen de profit : elle est non seulement une manifestation du culte de la productivité, mais une attitude d'activisme effréné et de violence permanente à l'égard de la société et de la nature. L'homme enfermé dans sa toute-puissance technologique nie l'univers comme il nie l'homme lui-même.

Il importe que les écologistes ne prêtent pas leur caution de « scientifiques » soi-disant neutres au rafistolage de l'économie capitaliste en crise profonde : tous les écologistes qui participent à l'aménagement du territoire et à la gestion des ressources naturelles doivent être conscients que leur sincérité de défenseurs de la nature sera mesurée à leurs prises de position publiques, contre un système en expansion qui condamne la nature.

La crise actuelle de la civilisation ne peut se résoudre que par des changements radicaux de mentalité, de comportements et de structures.

De plus en plus les protecteurs de la nature, au sens traditionnel, sont dépassés par ceux qui veulent un changement radical de la société au nom de l'écologie. Inévitablement le mouvement écologique est appelé à se radicaliser — n'en déplaise à certains naturalistes aux vues étroites —. De toutes parts, surgissent des groupes de défense de l'environnement qui se radicalisent à mesure que leurs militants se familiarisent avec les problèmes affrontés et avec l'inertie, la duplicité, l'opportunisme et la fausseté des pouvoirs publics qui prétendent vouloir protéger l'environnement tout en cherchant à consolider une économie moribonde.

Le programme nucléaire français représente certainement l'une des plus graves menaces pour la population et son environnement collectif : c'est bien la raison pour laquelle de nombreuses associations écologiques se battent en priorité contre la prolifération des centrales nucléaires et demandent un moratoire de l'énergie nucléaire, c'est-à-dire un temps de pose, de réflexion et de recherches de cinq années au minimum.

Le terme « écologie » — au sens large — polarise les aspirations de la frange la plus radicale des défenseurs de l'environnement. L'écologie dont le caractère global et synthétique en fait une science subversive, doit inspirer un mouvement de résistance globale à la société industrielle, productiviste et expansionniste : elle doit inspirer finalement une véritable contre-société décentralisée, autogérée, pluraliste et libertaire. La science du milieu vital a logiquement apporté une subversion radicale et globale. L'écologie

conduit à poser le problème de la révolution et du changement social dans des termes radicalement nouveaux, sans pour autant que tout se résume à l'écologie.

MORCEAUX CHOISIS

« Croire à la possibilité d'une énergie propre comme une solution à tous les maux représente une erreur de jugement politique : on s'imagine que l'équité et la consommation d'énergie pourraient croître ensemble. Victimes de cette illusion, les hommes industrialisés ne posent pas la moindre limite à la croissance de la consommation d'énergie, et cette croissance se continue à seule fin de pourvoir toujours plus de gens des produits d'une industrie contrôlée par toujours moins de gens. (...) Les pauvres comme les riches devront dépasser l'illusion que plus d'énergie, c'est mieux. Dans ce but, il faut d'abord déterminer le seuil d'énergie au-delà duquel s'exerce l'effet corrupteur, et le faire par un processus politique associant la population. (...) Si des assemblées représentant la population déterminaient à toutes fins utiles, et sans l'aide des experts, les seuils critiques de vitesse, alors serait ébranlée la base même du système politique sur lequel sont construites les sociétés industrielles ».

Ivan ILLICH, *Énergie et équité*. Le Seuil. 1973

« ... La consommation sans cesse croissante en énergie produite par la combustion du fuel fossile ou par la fission nucléaire accroîtra la pollution et d'autres problèmes écologiques quels que soient les contrôles que l'on puisse appliquer, et il est presque certain qu'elle conduira à de graves pénuries de pétrole dans un avenir proche et, par voie de conséquence, à un conflit mondial et à la guerre. (...) L'un des buts fondamentaux d'une politique mondiale de l'énergie devrait être d'abolir la propriété privée des sources non renouvelables d'énergie et de les soustraire à une exploitation pour des profits particuliers... ».

Extrait de la Déclaration de DAI DONG sur la crise de l'énergie.

Adresse pour la France :

Daï Dong, 22 rue de l'Eglise 69003 Lyon

« Un bon exemple d'échange d'un cheval borgne pour un aveugle : l'énergie nucléaire. Plutôt que de remettre en cause la raison même de toute cette débauche d'énergie,

nous nous acharnons à trouver des « solutions de rechange ». Le nucléaire est pire que les autres, mais qu'importe, il faut que les grands trusts pétroliers qui contrôlent maintenant en partie l'industrie de l'atome, vivent et continuent de s'enrichir. Peu importe, comme le crient des milliers de savants du monde entier, si cela engage et menace gravement la survie de l'humanité. C'est la conception même de notre civilisation actuelle qui est à remettre en cause, dans tous ses aspects. Voilà pour quoi aussi « la pensée » et la recherche écologiques, dans ses prolongements avancés en matière d'économie, de société, d'agriculture, de vie apparaît comme la seule pensée vraiment révolutionnaire de ces dernières décennies. Son approche du « réel » s'appuyant sur des faits et une connaissance scientifique objective, accrue et approfondie du monde qui nous entoure. Quoique souvent intéressantes, les tentatives dites politiques de remise en question du système n'apparaissent alors que comme une tentative de replâtrage d'un modèle de civilisation condamné à disparaître ».

Bernard LETELLIER, Les Eglantiers B 62 27 Vernon
(Groupe Survie. Région Vernonnoise).

« Oui, la crise de l'énergie est là; non seulement autour des puits de pétrole arabes, mais en nous, au cœur de notre société sur-consommatrice et égoïste. Considérons cette crise conjoncturelle comme une chance à saisir pour éviter d'être accablés au vide dans dix ou vingt ans. Politiciens et économistes, P.D.G. et technocrates, rien ne se dénouera si vous ne changez pas l'esprit de votre action; endormez l'opinion, mais sachez que vous condamnez la nature et nos enfants à la grande crise écologique; « récupérez », mais sachez que nous aurons le droit de vous dénoncer, et le devoir de vous combattre. Car la véritable crise de l'énergie est une crise de l'homme et de la société ».

Philippe LEBRETON. « Une crise méritée »,
La Vie des Bêtes, février 1974.

« ... Imaginons pourtant que la prudence (à l'égard de l'énergie nucléaire) se révèle en fin de compte une erreur : l'âge d'or adviendrait-il vraiment avec une source d'énergie illimitée propre et quasi gratuite ? Ne serait-ce pas au contraire la fin irrémédiable de ce qui subsiste de nature, l'énergie n'étant qu'un outil ou qu'une arme propre à concrétiser et satisfaire nos désirs d'agressivité, de conquête, d'expansion, de modification de notre milieu ? Qu'importe à nous naturalistes, qu'importe à l'Homme en ses racines profondes, un monde « ordonné », sillonné de millions de km de routes « parfaites » sur lesquelles rouleraient des milliards de voitures « propres » produites par des milliers d'usines « non polluan-

tes » ? Que représenterait ce monde dénaturé résultant de la suprême exaltation de notre narcissisme, qu'auto-riseraient alors la facilité puis la débauche énergétiques...

En fin de compte, le problème de l'énergie nucléaire pacifique, le problème de l'énergie tout court, n'est pas seulement un problème technologique ni même écologique : il est un problème de civilisation, d'attitude de l'Homme face à lui-même et face à la Nature. Ou bien notre espèce trouvera enfin le frein nécessaire à son expansivité, ou bien elle périra sur ses richesses, entraînée dans sa chute avec une Nature qu'elle aura tuée sans pitié ».

Philippe LEBRETON. L'énergie nucléaire pacifique :
âge d'or ou impasse biologique ?
Penn Ar Bed, N 75, 1973.

« Ces objections ont-elles été discutées ? Non. Une information réelle sur les risques a-t-elle été donnée à la population ? Non. Y a-t-il eu un seul débat contradictoire à la télévision ? Non. A-t-on envisagé un référendum national sur une question qui hypothèque l'avenir des Français pour plus longtemps qu'une éphémère constitution ? Non.

Nos gouvernements sont pressés. Il ne faut pas que nous ayons le temps de réfléchir, de savoir qu'il existe des solutions complémentaires. Une production d'énergie décentralisée par exemple, qui assurerait la totalité des besoins domestiques, dont la technologie est déjà parfaitement au point, par turbines, éoliennes, panneaux-captateurs solaires. Mais cette solution est inenvisageable et scandaleuse car elle implique l'autogestion de l'énergie par les utilisateurs. On la fait passer pour démodée, rétrograde, réactionnaire, dérisoire. Pourquoi ? Parce qu'elle implique l'affaiblissement relatif du centre nerveux politique. Tandis que la grande structure fragile du nucléaire avec les investissements colossaux qu'elle implique : 7 milliards pour la seule usine d'enrichissement de Pierrelatte, ça c'est un ciment national ».

Alain HERVE. L'écroulement de la Baliverna.
Le Sauvage, n° 9, janvier 1974.

« ... L'aspect commercial : je ne m'y étendrai pas longuement, en ayant déjà discoursu à maintes reprises. Le fait est que le relèvement de notre taux de croissance, qui a fléchi dangereusement depuis cinq ans, dépend du succès de notre action commerciale. Je soulignerai au passage, avec satisfaction, que l'objectif de vente de cuisinières électriques qui avait été fixé pour 1970 a été atteint.

Le thème du « tout électrique », par le truchement du chauffage électrique intégré, fait son chemin. On a

mis le paquet. Le message prend corps et j'ai bon espoir : il y a déjà, à la Foire de Paris une maison préfabriquée vendue en tout électrique, avec majoration du prix d'achat si le client, bizarrement, tient à se chauffer au mazout. Mais le chemin à parcourir est encore difficile, nous avons à acquérir et développer des réflexes de commerçants dont il faut bien reconnaître qu'ils ne s'étaient guère exercés jusqu'ici : je compte sur vous pour répandre la foi et les mœurs du commerçant dans votre personnel... ».

EDF-GDF, Réunion des directeurs et des chefs de centre de la distribution (Paris, 10-12 mai 1971).

Extrait du discours de M. BOITEUX,
Directeur général de l'EDF.

« La plus grande hypocrisie des pays industrialisés consiste à proclamer que leur croissance est nécessaire pour faciliter le décollage économique des pays du tiers-monde. En réalité, cette croissance se nourrit aveuglément des matières premières irremplaçables dont elle dépouille pour toujours les continents sous-équipés; elle ferme égoïstement les frontières des riches aux produits finis que les pauvres pourraient exporter. Elle attaque ainsi à la fois le présent et l'avenir des faibles. La croissance économique et la croissance des inégalités vont de pair ».

Henri CHARNAY. « Alliance avec la vie »,
Ed. de Breteuil, Paris 1973.

APPEL POUR UN MORATOIRE NUCLÉAIRE

— *Constatant* l'attitude des responsables politiques et industriels qui hypothèquent notre avenir en nous engageant dans l'aventure atomique avant d'avoir trouvé les solutions aux problèmes qu'elle pose (élimination des déchets radioactifs, détérioration de l'environnement, effet des radiations ionisantes...)

— *Constatant* leur refus d'informer la population des risques courus par tous et des accidents déjà subis par certains, alors que la dangereuse industrie nucléaire s'établit aux frais et aux dépens de toute la société.

— *Inquiets* non seulement pour nous-mêmes mais aussi pour nos enfants, pour les générations à venir et pour les autres formes de vie existant sur la Terre, qui auront à subir les effets des activités destructrices de notre société.

Nous refusons que notre avenir et celui de nos enfants soit ainsi mis en danger. Nous exigeons un moratoire de l'industrie nucléaire

c'est-à-dire :

- l'arrêt temporaire du fonctionnement et de la construction de toute installation nucléaire industrielle, ainsi que l'arrêt définitif de toute explosion atomique
- la recherche de solutions satisfaisantes aux problèmes reconnus (effets à long terme des radiations et retombées, détérioration de l'environnement, gestion des déchets, sécurité des centrales nucléaires)
- l'affectation des crédits et du personnel ainsi libérés à la recherche d'autres sources d'énergie (solaire, géothermique, éolienne...)
- qu'une information complète et contradictoire de la population soit donnée, et par tous les moyens
- que la levée éventuelle du moratoire dépende d'une consultation démocratique de tous les citoyens sur une question sans ambiguïté (les formes de cette consultation dépendant des pays)
- que par la suite, aucune installation nucléaire ne puisse se faire sans information, consultation démocratique et accord préalable des populations localement concernées.

Coordination pour le moratoire
Les Amis de la Terre,
16, rue de l'Université, Paris 7^e.

« ... La « crise de civilisation » c'est le coup porté à ce qu'on appelait la société de consommation. Alors qu'on se demandait l'an dernier s'il ne faudrait pas se mettre un jour au rythme de la croissance zéro, la Chase Manhattan Bank estime que le taux de croissance des USA sera nul (d'autres disent négatif) en 1974. Le capitalisme peut se prémunir de deux façons contre une hausse du coût de l'énergie et des matières premières : en investissant à fond dans la recherche et la production de nouveaux types d'énergie, en développant le secteur des services (santé, vacances...) sur le thème de la qualité de la vie.

Mais de toutes façons, ce genre de réorientations s'accompagnera de chômage, de diminution du pouvoir d'achat, donc aussi de révoltes, de mouvements sociaux et quelques autres petites choses passionnantes. Moment difficile à passer pour le Capitalisme, il peut y laisser sa peau. Mais moment délicat pour nous aussi.

Il n'est pas question pour nous de nous féliciter de ce retour à un « capitalisme du pénurie », écologiquement plus viable, plus raisonnable que le capitalisme d'abondance. Même si cela nous fait plaisir d'avoir eu raison un peu plus tôt, et de voir les SM se trainer à 90 à l'heure. L'Union Sacrée autour de la sauvegarde de l'Economie ne nous intéresse pas (...).

La société d'abondance commençait à poser au Capital des problèmes difficilement solubles : désaffection à l'égard du travail, dissolution du sentiment de responsabilité, phénomènes de fuites en tout genre... Comme si le développement des forces productives asphyxait le capitalisme de lui-même simplement parce que le rêve qu'il promettait, touché du doigt, s'avérait être un cauchemar sans nom. De là naissaient des revendications et un mouvement social nouveau, qui visait non pas une bonne économie, mais la fin de l'économie, non pas une répartition équitable des marchandises, mais un rapport au monde qui ne soit pas dominé par la marchandise (...). Il y aura peut-être, à partir des réseaux de solidarité matérielles que nous pourrions développer, à poser les bases d'un autre mode d'échange que l'échange marchand (...).

Renart et Ysengrin. *Survivre et Vivre*, n° 17.
(6, rue Chappe, Paris, 18°)

BIBLIOGRAPHIE

I. Généralités.

- ABRAHAMSON Dean E. — *Environmental Cost of Electric Power*. A Scientists' Institute for Public Information workbook. 36 p. 1970. SIPI, 30 East 68 th Street, New-York, NY 10021.
- ADELMAN M. A. — *The world petroleum market*. 544 p. 22,50 dollars. Resources for the future. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1973.
- ARROW Leonard. — White House fuel scheme = burn, baby, burn. *Environmental Action*, 27 October 1973. (Room 731, 1346 Connecticut Ave NW, Washington DC 20036).
- AUTEURS DIVERS. — Food production and the energy crisis. *Science*, Vol 182, 2 Nov. 1973 p. 443-449. Bibl., A.A.A.S. Washington.
- BAUCHARD Denis. — *Le jeu mondial des pétroliers*. Le Seuil.
- BERNARD Roger. — Energie, crise ou révolution. *Le Courrier de la Nature*. n° 30, mars-avril 1974. p. 75-78. SNPN, 57, rue Cuvier, Paris 5°.
- BOOKCHIN Murray. — The « energy crisis » : myth and reality. *WIN Magazine*. Vol IX n° 39, 20 December 1973.
- BROWN Theodore L. — *Energy and the environment*. Charles Merrill Pub. Co. 1971.
- CALLOT François. — *Les richesses minières mondiales*. Le Seuil.
- CHAPMAN P.F. — Energy Production — a world limit ? *New Scientist*, 1970 47 (720), p. 634-636.
- Comité Exécutif du Club de Rome. *Le Rapport de Tokyo sur l'homme et la croissance*. Le Seuil 1974, 88 p. 12 F.
- Quelles limites ? Réponses* de D. MEADOWS, le Club de Rome et G. PICTH réunies par A. PETITJEAN. Le Seuil 1974, 188 p. 21 F.
- CHEVALIER Jean-Marie. — *Le nouvel enjeu pétrolier*. Calmann-Lévy 1973 305 p.
- CHIBBARO L. — Who's telling you what about the energy crisis. *Environmental Action* 22 December 1973. p. 3-6.
- DAHLBERG Kenneth A. — *Towards a policy of zero energy growth*. The Ecologist. Vol. 3, No. 9, Septembre 1973.
- DARMSTADTER Joel. — *Energy in the world economy*; a statistical review of trends in output, trade, and consumption since 1925. 888 p., 22,50 dollars. Resources for the future. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1972.
- DIOGÈNE. — *La crise de l'énergie*. Réflexions sur les causes et les « solutions ». Multigraphié, 6 p. Novembre 1973. Diogene-FRAPNA, 43, Boulevard du 11 Novembre 1918, 69 Villeurbanne. 1 F.
- DIOGÈNE. — *Pourquoi, comment économiser l'énergie ?* 1973, 18 p. Multigraphié, 2,30 F.
- The economy, energy, and the environment*. — A background study. Joint Economic Committee (Congress). September 1, 1970. USGPO. Washington, DC, USA. 131 p.
- Environmental Effects of Producing Electric Power*. — Hearings before the Joint Committee on Atomic Energy (Congress of the U.S.) 1969-1970. USGPO, Washington DC.
- Energie et Environnement*. — Rapport sur les relations entre le secteur de l'énergie et l'environnement. La Documentation Française. Collection Environnement n° 8, 214 p.
- Energie, humanité et environnement*. — Compte-rendu en allemand du symposium international tenu du 3 au 5 février 1972. Gottlieb Duttweiler Institut, Rüschlikon (Zurich, Suisse).
- Energy and power*. — A Scientific American Book. 1971, 144 p. W.H. Freeman, San Francisco. Cloth \$ 6.50 Paper \$ 3.25.

- The Energy Index*. — A select guide to energy literature since 1970. 400 p. 50 dollars. Environment Information Center, Inc. 124 East 39th St. New York, NY 10016.
- The Energy Crisis*. — A Science and Public Affairs Book (Bulletin of the Atomic Scientists). 6 dollars.
- Environnement*. — Vol. 15 No 8, October 1973. Numéro spécial sur l'énergie, le coût énergétique des transports et de la lutte contre les pollutions. (438 N. Skinker Blvd, Saint-Louis, Missouri, 63130, USA).
- Fiche « Énergie » p. 52-63 in : DUMONT René et alia : *La campagne de René Dumont et du mouvement écologique*. Jean-Jacques PAUVERT, 1974, 142 p. 15 F.
- GRENON Michel. — *Ce monde affamé d'énergie*. Robert Laffont, Paris, 1973, 313 p. 26 F.
- GRENON Michel. — *Pour une politique de l'énergie*. Marabout Université.
- HOLDREN J. and P. HERRERA. — *Energy*. Sierra Club 1971. 2,75 dollars. (1050 Mills Tower, San Francisco, California, 94104, USA).
- ILLICH Ivan. — *Énergie et équité*. Le Seuil, Paris 1973, 64 p. 6,50 F.
- LABEYRIE Vincent. — A propos de quelques conséquences écologiques de l'organisation des transports. *L'Espace Géographique*. n° 1, 1973. p. 5-20.
- LEBRETON Philippe. — *L'énergie c'est vous*. Stock 2. Collection Vivre. Paris 1974.
- LOVINS Armory B. — *World energy strategies*: facts, issues and options. 51 p. 15 Nov. 1973. Friends of the Earth, 9 Poland Street, London W1.
- MADELIN Henri. — *Pétrole et politique en Méditerranée occidentale*. Armand Colin.
- MARTIN J. M. — Problèmes de l'environnement et politique énergétique: *Evaluation de l'environnement*, recueil de textes. La Documentation Française, Collection Environnement n° 19, 1973, p. 300-311.
- MOSELEY Léonard. — *Power Play*: Oil in the Middle East. Random House New-York, 457 p. 10 dollars.
- OCDE. — Incidences sur l'environnement de la production et de l'utilisation de l'énergie. ENV 73 (9), 10 p. Diffusion restreinte. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris, février 1973.
- OCDE. — Groupe d'experts sur les incidences sur l'environnement de la production et de l'utilisation de l'énergie. NR/ENV/73.56 17 p. Diffusion restreinte. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris, novembre 1973.
- OCDE. — *Énergie et environnement*. 1974.
- ODELL Peter (1970). — *Le pétrole et le pouvoir mondial*. Editions Alain Moreau. Paris 1973, 234 p. 29 F.
- ONU - CEE. — *Aspects météorologiques de l'économie des produits de base et de l'énergie*. Note du secrétariat. Commission Economique pour l'Europe. EC. AD. XI, R3, Add 2. 9 janvier 1974. 25 p.
- ORSKI K. Kenneth. — Possibilités d'économiser l'énergie : le cas de l'automobile. *L'Observateur de l'OCDE*. n° 68. février 1974, p. 13-18.
- PACKARD Vance. — *La persuasion clandestine*. Calmann-Lévy.
- PACKARD Vance. — *Les obsédés du standing*. Calmann-Lévy.
- PACKARD Vance. — *L'art du gaspillage*. Calmann-Lévy.
- Planification globale de l'énergie : travaux en cours au Centre Européen de la Fondation Carnegie pour la Paix Internationale, 58, rue Moillebeau, CH 1211 Genève 19.
- The price of power: electric utilities and the environment*. Economic Priorities Report. 55 p. 1971, Council on Economic Priorities 456 Greenwich Street New-York.
- New-York, NY 10013.
- PUISSEUX Louis. — *L'énergie et le désarroi post-industriel*. Hachette, Coll. Futuribles, 1974. Tome 1 : 188 p. Tome 2 : Dossier méthodologique; la prévision de consommation d'électricité. 185 p.
- Resources and Man*. — Committee on Resources and Man, Division of Earth Sciences. National Academy of Sciences — National Research Council. WH Freeman and Company. San Francisco, 1969, 259 pages. 3 dollars.
- SACHS Ignacy. — *Environnement et approvisionnement en ressources : vers une nouvelle géographie industrielle mondiale*. Multigraphié, 15 p.
- SACHS Ignacy. — *Environnement et styles de développement*. Multigraphié 1974.
- SAMUEL Pierre. — Chapitre: Ressources en énergie. p. 80-131. in : *Ecologie, détente ou cycle infernal*. Collection 10-18. UGE. 1973. 445 p. 10 F.
- SCHURR Sam H. (sous la direction de). — *Energy, economic growth, and the environment*. 240 p. 3 dollars. Resources for the Future. The Johns Hopkins University Press. Baltimore. 1972.
- SEPN Loir-et-Cher. — *Rencontre-débat Énergie et Société*. Blois, 8 juin 1974. 9 orateurs. Multigraphié 20 p. 2 F. (SEPN, 9 ter, Chemin des Landes, 41 Blois).
- STEPHENSON Lee. — *Nixon plans a freeze on the people*. *Environmental Action*, 24 November 1973, p. 3-5.

STEPHENSON Lee. — Oil adversiting = brainwashing at public cost. *Environmental Action* 2 march 1974 p. 3-6.

Technology Review. — Vol. 74, No. 3, MIT 1972.

WHITE, David C. — The energy-environment economic triangle. *Technology Review*, Vol. 76 No. 2, december 1973, MIT, Room E 19-430, Cambridge, Massachusetts 02139.

La crise de l'énergie : les pauvres vont avoir froid. *Forum du Développement*, n° 6 décembre 1973, p. 12. Centre de l'Information Economique et Sociale. Palais des Nations. CH 1211 Genève 10.

La grande crise de l'énergie. *Le Sauvage* n° 2. mai-juin 1973, p. 59-65.

Bibliographie Energie. — Littérature américaine. 13 p. février 1974. Centre de Documentation Benjamin Franklin. 1, place de l'Odéon, Paris 6°.

AUBERT Claude. — Pétrole, croissance zéro et limitation des besoins *Nature et Progrès*, Vol. XI, n° 1, janv. fév. mars 1974.

MALLEROY Antoine. — Le nucléaire français saisit sa chance *La Recherche* n° 46, juin 1974, p. 590-591.

BOOKCHIN Murray. (1965). — Vers une technologie libératrice. Editeur Parallèles, 64 p. Paris, 1974. 7 F.

Energie, matières premières. Dossier 32 p. *Problèmes économiques* n° 1363 1974, 2,50 F.

Ford Foundation. — *Exploring Energy Choices*. A preliminary report. Energy Policy Project of the Ford Foundation. P. O. Box 23212, Washington DC 20024. 81 p. 75 cents.

II. Energie nucléaire.

AUTEURS DIVERS. — Plutonium, notre hideuse mort. *Protection contre les rayonnements ionisants*. n° 39-40, 2° et 3° trimestre 1972.

BERG George G. — Hot wastes from nuclear power. *Environment*. Vol. 15 No. 4, 1973, p. 36-44.

BRYERTON Gene. — *Nuclear Dilemma*. Ballantine Books, 1970, 138 p. New-York.

The case for a Nuclear Moratorium. — An Environmental Action Foundation Publication, 31 pages. 50 cents. December 1972, June 1973, Environmental Action, Suite 731, 1346 Connecticut Avenue, Washington DC 20036.

COLLEE R. — Energie nucléaire et environnement. *La Tribune du CEBEDEAU*. n° 350, janvier 1973, p. 18-28, bibliographie.

CURTIS Richard and HOGAN Elizabeth. — *Perils of the peaceful atom; the myth of safe nuclear power plants*, Ballantine, New York. 1970.

DIOGÈNE. — (Croissance Énergétique Zéro) *Radioactivité et environnement*. Multigraphié, 34 p. Bibl. — Diogène, FRAPNA, 43 Bd du 11 Novembre 1918, 69 Villeurbanne.

EDSALL John T. — Hazards of Nuclear fission power and the choice of alternatives, *Environmental Conservation*, vol. 1, N 1, Spring 1974, p. 21-30. Elsevier Sequoia SA, P.O. Box 851, CH 1001 Lausanne 1.

GOPMAN John W. and Arthur R. TAMPLIN. — *Poisoned Power; the case against nuclear power plants*. Rodale Press, Emmaus, Pa. 18049, U.S.A., 1971, 368 p.

GOPMAN John W. and Arthur R. TAMPLIN. — *Population control through nuclear pollution*. Nelson Hall, Chicago 1970, 1972.

LE HÉNAFF Yves. — *La pollution radioactive*. Multigraphié, 56 p. Supplément à « Survivre et Vivre » (6, rue Chappe, Paris 18°).

L'Institut de la Vie et l'Energie Nucléaire. Octobre 1972, 35 p. + annexes. Institut de la Vie, branche suisse. CH 1211, Genève 1, case postale.

LEBRETON Philippe. — L'énergie nucléaire pacifique : âge d'or ou impasse biologique ? *Penn Ar Bed*, n° 75, décembre 1973, pp. 206-218. Tiré à part diffusé par Diogène, cellule lyonnaise.

Mieux-Vivre. N° 5, mai 1974, Spécial nucléaire (54, rue d'Amsterdam, Paris 9°).

NOVICK Sheldon. *The careless atom*. Houghton Mifflin Company, Boston 1969, 201 p. Paperback 2 dollars.

NOVICK Sheldon. — Toward a nuclear power precipice. *Environment*. Vol. 15, Nr. 2, March 1973, pp. 32-40, bibliographie.

PARKER Daniel. — L'envers du décor nucléaire. *Protection contre les rayonnements ionisants*, n° 36, 3° trimestre 1971.

PARKER Daniel. — Un moratoire nucléaire s'impose. *Protection contre les rayonnements ionisants*, n° 44, 3° trimestre 1973. Bibl.

PATTERSON Walter C. — Nuclear reactors. Earth Island, London 1973, 102 p. Friends of the Earth, Ltd, 9, Poland Street, London W1.

S.N.P.C.E.A.-C.F.D.T. — *L'électronucléaire en France*. Situation actuelle, problèmes pour l'avenir. 25 p. + Annexes, mars 1974, 2 F. Le dossier technique : centrales et combustibles nucléaires. 128 p. Juin 1974, 5 F (SNPCEA-CFDT, CEN Saclay, B. P. 2, 91 Gif-sur-Yvette).

III. Energies naturelles.

Auteurs divers. — Stations énergétiques solaires : problèmes et perspectives. *Analyse et prévision*. Janvier 1974, Tome XVII, n° 1, pp. 3-8.

CLARKE Robin. — L'urgente nécessité d'une « contre-technologie ». In : *Impact; science et société*; Vol. XXIII, n° 4, octobre-décembre 1973 (« Pour une autre technologie », pp. 275-381)

Environmental Action. Special issue : energy alternatives, 2 February 1974, 16 p.

GREENHILL Basil. — The sailing ship in a fuel crisis. *The Ecologist*. Vol. 2, n° 9, septembre 1972. The Ecologist, 73 Molesworth Street Wadebridge, Cornwall, England.

HOTTEL H. C. and J. B. HOWARD. — *New energy technology : some facts and assessments*. MIT press 1971, 1973, 354 p., 3 dollars.

Mac KILOPP Andrew. — *Low energy housing*. The Ecologist. Vol. 2, n° 12, December 1972.

Mac CAULL Julian. — *L'énergie éolienne*. Nature et Progrès. Vol. X, n° 3, juillet-août-septembre 1973, d'après Windmills, « *Environnement* », Vol. 15, n° 1, Jan.-Feb. 1973.

ONU : *Sources nouvelles d'énergie*. Actes officiels de la Conférence. Rome 21-31 août 1961. 7 volumes bilingues (Energie géothermique, solaire, éolienne). Diffusion en France : Ed. Pedone. Paris.

La production d'eau chaude par l'énergie solaire. *Nature et Progrès*. Vol. X, n° 2, avril-mai-juin 1973.

UNESCO. — *Geothermal energy*, Paris, 1973, 56 F.

SPURGEON David. — Natural power for the Third World. *New Scientist*, 6 December 1973, p. 694-697.

IV. Périodiques.

Protection contre les rayonnements ionisants. — Revue trimestrielle d'information. APRI, 1, Grande-rue, Crisenoy, 77 Guignes.

Science and Public Affairs; Bulletin of the Atomic Scientists. — 1020-24 E., 58th Street, Chicago, Illinois 60637. Excellente revue mensuelle.

Energy Policy. — The economics and planning of energy. IPC Science and Technology Press Limited. 32 High Street, Guildford, Surrey, U.K. Revue trimestrielle depuis juin 1973.

Bulletin *IONIX*. — Comité de Sauvegarde de Fessenheim et de la Plaine du Rhin (CSFR), 3, Grand-Rue, 67 Saales.

Not Man Apart. — Friends of the Earth, 529 Commercial Street, San Francisco, California 94111, USA.

Alternatives Sources of Energy. — Route 1, Box 36 B, Minong, Wisconsin 54859.

Economie de l'Energie. — Centre de documentation CNRS, Sciences Humaines, 54, Bd Raspail, Paris (6^e). Revue mensuelle.

Nature et Progrès. — Revue trimestrielle de l'Association Européenne d'Agriculture et d'Hygiènes Biologiques, 3, Chemin de la Bergerie, 91 - Ste-Geneviève-des-Bois.

WIN Collective. — 339, Lafayette Street, New York 10012, N. Y., USA.

RÉSUMÉS DE THÈSES

Jacques CAPBLANCO. — **Recherches sur la productivité primaire des lacs d'altitude.** Thèse soutenue le 24 janvier 1974 à la Faculté des Sciences de Toulouse. Jury : MM. Angelier, Margalef, Bourrely, Lecal, Bonnet, Berthelémy. Publiée dans les *Annales de Limnologie*, 1968, p. 275-324; 1972, p. 231-321; 1973, p. 183-192 et p. 193-230.

Les lacs de haute montagne, souvent désignés sous le terme de lacs ultra-oligotrophes, furent longtemps considérés comme des milieux pauvres en phytoplancton par suite de leur extrême transparence et des rares organismes récoltés au moyen des filets les plus fins. Stimulés par les résultats de Rodhe en 1962, quelques recherches suivies fournissent une image différente de ces lacs. Le sujet que J. Capblancq aborde dans sa thèse, réalisée dans le cadre du P.B.I., concerne quatre lacs étagés entre 2 200 et 2 300 m dans les Pyrénées centrales. Il s'intègre dans une étude générale du fonctionnement des écosystèmes lacustres de haute montagne.

Ce travail se subdivise en quatre chapitres.

Dans le premier l'auteur décrit les milieux et étudie l'évolution annuelle des composantes physico-chimiques. Le climat de ces lacs de montagne se caractérise par la succession de trois phases à partir des premières chutes de neige en novembre :

— une phase de gel qui se prolonge jusqu'à la fin du mois de juin et pendant laquelle les lacs sont emprisonnés sous une couche, formée de strates alternées de glace et de neige, épaisse de 2,50 m à 3 m en avril. Cette couverture hivernale absorbe plus de 99 % de l'énergie lumineuse si bien que, dans l'eau sous-jacente maintenue à l'obscurité pendant plus de six mois, les phénomènes de décomposition prédominent. Dans le lac de Port-Bielh la consommation d'oxygène par les sédiments au cours de cette phase de stagnation entraîne des conditions identiques à celles qui règnent dans l'hypolimnion des lacs eutrophes : courbes clinogrades de l'oxygène, diminution des potentiels d'oxydo-réduction au niveau du fond et passage dans l'eau des ions libérés par réduction des sédiments (fer ferreux, silicates, phosphates) formation de H_2S et NH_4 par réduction des sulfates et des nitrates. Dans les lacs peu profonds, la compression de la neige et la formation de la glace

maintiennent une bonne oxygénation de l'eau jusqu'au fond ;

— la débâcle, à la fin du mois de juin, renouvelle totalement l'eau des lacs de faible volume. Ces derniers sont privés plus ou moins tôt de tout apport extérieur ce qui se traduit par une baisse du niveau et une augmentation de la quantité d'éléments dissous. Au lac de Port-Bielh, seule l'eau de surface est apparemment renouvelée par l'eau de fonte de neige ;

— la période estivale (juillet-novembre) caractérisée par de faibles précipitations et l'assèchement progressif des ruisseaux affluents et des déversoirs. La forte insolation entraîne un réchauffement rapide de l'eau. Les lacs peu profonds, brassés par le vent, sont constamment homothermes. Dans le lac du Port-Bielh (profondeur maximale 19 m), un gradient thermique consécutif au réchauffement de l'eau en surface apparaît très rapidement. Il s'atténue progressivement pour disparaître en septembre, début d'une longue phase d'isothermie automnale qui se prolonge jusqu'au gel. De type dimictique, ce lac se caractérise pendant la stratification par un hypolimnion bien oxygéné (teneurs ≥ 120 % de saturation) au pH alcalin ($pH \geq 9$) où les teneurs en NO_3-N , SiO_2 et PO_4-P atteignent leur valeur minimale. Le brassage des eaux à l'isothermie d'automne uniformise les valeurs dans toute la masse d'eau.

Dans le deuxième chapitre, l'évolution qualitative et quantitative du peuplement phytoplanctonique est décrite et la productivité du phytoplancton mesurée à l'aide de la méthode au ^{14}C .

Le phytoplancton hivernal est très réduit mais les algues ne disparaissent jamais totalement sous la glace. Au lac de Port-Bielh, elles se distribuent en profondeur selon le schéma suivant :

— espèces automnales (*Oocystis*, *Chromulina*, *Ochromonas*) et formes incolores (*Monas*, *Katablepharis*) jusqu'à 10 à 12 m de profondeur. Ces algues sont présentes en faibles quantités (≈ 100 cell./ml) et forment des biomasses souvent inférieures à $10 \mu g$ de P.F./l ;

— des Cyanophycées (*Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Chroococcus*), une Euglenacée incolore (*Astasia* sp.) et des bactéries oligoaérobies se succèdent entre 12 m et 18 m. Près du fond, la biomasse de bactéries atteint 2 à 3 mg de P.F./l.

Ce peuplement disparaît très vite à l'isothermie de printemps. Dans tous les lacs les Chrysomonadines (*Chromulina* plus *Ochromonas*), les Cryptomonadines (*Chroomonas* plus *Cryptomonas*) et les Diatomées (*Cyclotella*) sont les groupes les mieux représentés. La succession Chrysomonadines au dégel — Cryptomonadines et Diatomées au milieu de l'été — Chrysomonadines plus Chlorophycées à l'automne se retrouve dans tous les lacs. Mais, malgré des conditions physico-chimiques très voisines, le phytoplancton de chaque lac diffère nettement des autres ;

- les Chrysomonadines dominent dans les lacs les plus froids et les moins minéralisés ; leur abondance relative diminue au profit des Diatomées et des Chlorophycées dans les lacs plus chauds et plus riches en éléments dissous ;

- les Cryptomonadines sont peu abondantes dans les lacs de faible profondeur. Ce groupe n'abonde que dans la zone profonde du lac de Port-Bielh ;

- la diversité spécifique augmente en même temps que la température et la minéralisation de l'eau.

La succession des espèces au cours de l'été et leur remplacement en profondeur ont été étudiés durant trois années au lac de Port-Bielh. La biomasse atteint régulièrement un maximum de trois semaines à un mois après le dégel du lac. En période de stratification, la majorité des espèces se développent dans la zone la plus profonde. Le brassage des eaux à l'isothermie d'automne répartit les algues de façon homogène dans toute la masse d'eau mais la biomasse reste faible jusqu'au gel.

L'activité photosynthétique du phytoplancton, mesurée par l'assimilation de ^{14}C , présente deux maxima (23,5 à 36,3 mgC/m³/j) qui correspondent respectivement au pic de biomasse et au début de l'isothermie automnale. La diminution de la biomasse phytoplanctonique qui coïncide, au mois d'août, avec les fortes valeurs de pH et d' O_2 dissous, s'accompagne d'une baisse de la productivité. Dans les lacs peu profonds, l'assimilation de carbone par photosynthèse est toujours plus élevée que dans le lac de Port-Bielh. L'analyse du rythme journalier de photosynthèse montre que la productivité dépend étroitement des conditions d'éclairement : dans le lac de Port-Bielh, il existe une inhibition très nette de l'activité photosynthétique des algues de surface (0-8 m) au milieu de la journée.

L'analyse des relations entre les divers paramètres physiques, chimiques et biologiques indique que la température ne joue aucun rôle direct sur la dynamique du phytoplancton. La lumière apparaît comme un facteur essentiel qui détermine la distribution des espèces en profondeur et la productivité primaire pélagique. Son atténuation par la glace et la neige empêche pratiquement tout processus photoautotrophe en hiver. En

été, la photosynthèse peut être représentée par une fonction, au sens mathématique du terme, de l'énergie lumineuse disponible. Cette relation se caractérise par une inhibition importante de la photosynthèse dans la zone supérieure (0-8 m) l'optimum correspondant aux intensités qui règnent généralement entre 10 et 12 m. La comparaison des lacs étudiés et les relations entre la biomasse et le coefficient d'activité (P/B) du phytoplancton indiquent cependant que la lumière n'agit pas indépendamment des paramètres chimiques, l'effet inhibiteur étant d'autant plus prononcé que la disponibilité en sels dissous est faible. Parmi les composantes chimiques, la teneur en CO_2 libre et en $\text{PO}_4\text{-P}$ apparaissent comme les facteurs limitants. Il existe une relation assez nette entre la diminution de ces deux éléments et la chute de la biomasse et de la productivité du phytoplancton observée au mois d'août au lac de Port-Bielh. La poussée de photosynthèse automnale consécutive à la mise en circulation des eaux n'entraîne pas d'augmentation de la biomasse de phytoplancton par suite de l'intensification de la prédation par un zooplancton qui atteint sa densité optimale en septembre.

Comparés à d'autres lacs d'altitude ou à des lacs arctiques, les lacs du vallon de Port-Bielh se distinguent par une forte productivité estivale voisine de certains lacs mesotrophes alpins. Malgré un taux de renouvellement élevé (100 % à 245 % par jour) la biomasse algale reste faible par suite de la petite taille des organismes et de la prédation par le zooplancton.

Dans le troisième chapitre, l'auteur a utilisé la méthode d'analyse factorielle des correspondances pour traiter les données relatives au lac de Port-Bielh. L'analyse simultanée de 120 relevés et des 26 paramètres qui caractérisent ces relevés montre que les trois premiers axes rendent compte de la majeure partie de l'information puisqu'ils expliquent à eux seuls 75 % de l'inertie totale. Par rapport à ces trois axes, les relevés se disposent en quatre noyaux d'affinité distincts. L'axe 1 sépare les relevés correspondant à la période de stratification de ceux effectués à l'isothermie. Par rapport à l'axe 2 les relevés se rangent de façon presque parfaite selon un gradient surface-fond. L'axe 3 distingue les relevés de la zone profonde réalisés au début et à la fin de la période de stratification thermique. Les coefficients de corrélation de rang entre chaque facteur et les divers paramètres physico-chimiques montrent que la stratification thermique, la lumière et les composantes chimiques (pH, O_2 dissous, $\text{PO}_4\text{-P}$) sont, selon toute vraisemblance, les facteurs primordiaux responsables du cycle du phytoplancton et de la productivité primaire pélagique. La stratification thermique du lac agit probablement par l'intermédiaire des substances nutritives dont elle règle la diffusion à partir des sédiments.

Dans le dernier chapitre, le rôle des algues benthiques dans la productivité primaire du lac a été étudié. L'estimation de la biomasse des algues lithophytiques de la zone littorale (0-6 m) et de *Nitella flexilis* plus algues épiphytes qui colonisent toute la zone profonde (6-19 m) montre que la quantité de phytobenthos est environ 150 fois celle du phytoplancton. La biomasse maximale se situe entre 12 et 15 m de profondeur. La richesse des algues benthiques en Chlorophylle augmente également avec la profondeur, ce qui traduit une adaptation de *Nitella flexilis* à l'atténuation de la lumière et à la modification de sa composition spectrale.

Des substrats artificiels ont été utilisés pour étudier la dynamique du périphyton. L'auteur montre que cette méthode ne peut donner qu'une valeur relative de la productivité des algues lithophytiques et épiphytes. La zone profonde apparaît comme 10 fois plus productive que la zone littorale rocheuse. La mesure globale de la productivité de *Nitella flexilis* et des algues épiphytes par la méthode au C14 indique qu'il existe une relation inverse entre activité photosynthétique et biomasse de *Nitella*. La productivité des algues benthiques apparaît donc comme étant due essentiellement au périphyton. A la suite d'un phénomène de compensation (développement du périphyton sur les tiges clairsemées de *Nitella*, augmentation de la quantité de Chlorophylle des *Nitella* en zone profonde) la productivité est peu près identique à toutes les profondeurs et représente environ 30 % de la productivité primaire totale.

La productivité primaire des lacs de montagne dépend donc surtout des échanges au niveau des sédiments. Alimentés par les eaux de fonte des neiges, les apports en éléments minéraux et organiques en provenance d'un bassin versant dénudé sont probablement très réduits. Dans les lacs peu profonds, le brassage permanent des eaux favorise les échanges au niveau du fond. Dans le lac de Port-Bielh, les ions sont en partie assimilés par le phytobenthos qui agit comme un filtre entre les sédiments et la zone pélagique. D'autre part, la production d'oxygène par le phytobenthos entraîne la formation d'une zone oxydée à la surface des sédiments qui limite la migration des éléments minéraux. Dans ces eaux pauvres en éléments dissous, la lumière agit comme un facteur d'inhibition de la photosynthèse.

B. COMPS. — Introduction à l'étude écologique du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) en Aquitaine. Laboratoire de Botanique Université de Bordeaux I 33. Talence.

L'intérêt du cadre géographique choisi pour cette analyse repose, d'une part sur la variété des problèmes que soulève la définition écologique du hêtre à basse

altitude, d'autre part sur la position phytosociologique liée au climat océanique des groupements à hêtre de l'Europe occidentale. En outre, l'essence et son cortège floristique se comportent en Aquitaine comme une série marginale, à l'une de ses limites écologiques de survivance dont la définition précise peut contribuer largement à la connaissance des exigences fondamentales du hêtre.

A l'heure actuelle, l'arbre ne se maintient, sauf de rares exceptions, que dans certains milieux préférentiels caractérisés par une correction ombrique positive et thermique négative, par rapport aux valeurs climatiques moyennes régionales. Il recherche donc essentiellement l'abri des versants nord de collines ou quelquefois celui de massifs forestiers importants, installés sur terrain plat mais dont l'ambiance fraîche et humide supplée la correction ombrothermique liée à la topographie. Les localités actuelles du hêtre et de ses espèces compagnes représentent les vestiges d'une aire géographique ancienne de la série beaucoup plus vaste. Les biotopes correspondants présentent, le plus souvent des caractéristiques mésoclimatiques rappelant celles de l'étage montagnard du Massif Central ou des Pyrénées.

1°) Le hêtre et sa série en Aquitaine.

A l'heure actuelle, le hêtre subsiste çà et là, en peuplements plus ou moins importants, sur une grande partie du territoire aquitain, à l'exception toutefois du plateau landais et du bassin moyen et inférieur de la Garonne. Il semble exclu du premier en raison de l'extrême pauvreté des sols podzoliques et des podzols caractérisant la majeure partie de la couverture éolienne sableuse des Landes de Gascogne. Le long du bassin moyen et inférieur de la Garonne, la forte tonalité méditerranéenne qui irradie à partir du seuil du Lauragais, associée à la vocation agricole de cette région, ne permet guère à l'essence de s'y maintenir. De nombreuses traces toponymiques (noms de villages, de lieux-dits, de fermes) dérivant des racines « fage, faye, fargue, hage, etc... », suggèrent une extension ancienne beaucoup plus importante de la série, mais il s'agit là d'un argument assez hypothétique, renforcé, toutefois, par la survivance actuelle de quelques rares îlots, par exemple, à Rieumes, à Moissac, dans la forêt du Mas-d'Agénais...

Cet axe centre-aquitain de pénétration climatique méditerranéenne sépare deux territoires importants, influencés l'un par la proximité des Pyrénées, l'autre par celle du Massif Central et sur lesquels le hêtre a pu trouver refuge : ce sont le piémont pyrénéen, les pays gascons et le Plantaurel d'une part, le Périgord et l'Entre-Deux-Mers d'autre part.

A partir des hêtraies climatiques du piémont pyrénéen, se détachent divers ensembles de peuplements mixtes à

hêtre, de densité et de superficie très variables en raison de l'action de l'homme qui a déboisé çà et là, créant ainsi une mosaïque de groupements divers dans lesquels le hêtre a été plus ou moins exploité.

C'est surtout à l'ouest du plateau de Lannemezan que le « courant montagnard » manifeste le plus de vigueur : il pénètre encore assez profondément dans les bassins des gaves de Pau et d'Oloron ainsi que du Luy de France et de ses affluents jusqu'à Saint-Sever au nord, à la limite du plateau landais. Ce courant s'atténue progressivement du sud-est vers le nord-ouest pour reprendre curieusement une certaine vigueur à très basse altitude (moins de 100 m et parfois moins de 50 m) aux environs de Peyrehorade. Dans tout ce secteur, les fortes précipitations et le degré hygrométrique atmosphérique élevé caractérisant le climat atlantique favorisant l'essence.

Un peu plus à l'est du piémont, au niveau de Bagnères-de-Bigorre, se détache une ramification importante de chênaies-hêtraies, suivant un axe orienté sensiblement sud-nord, le long de la haute vallée de l'Adour, celle de l'Arros et de leurs affluents de même direction générale. Cet ensemble s'avance encore loin vers le nord, jusqu'aux environs de Cazaubon (Gers), à la limite du massif de pins landais. Là encore, la juxtaposition de peuplements d'inégale importance, indépendamment de l'altitude, prouve l'amplitude des déboisements dont le hêtre a particulièrement souffert.

En progressant vers l'est à partir de Lannemezan, l'influence atlantique se heurte à la pénétration méditerranéenne en sens opposé, et le hêtre a de plus en plus de difficulté à trouver refuge à basse altitude. Les peuplements s'éloignent peu vers le nord et restent cantonnés pour la plupart, à proximité du Plantaurel et des Petites Pyrénées.

Au nord-est de l'Aquitaine, le hêtre ne s'observe en peuplements relativement denses qu'en Périgord Noir, dans le triangle délimité par la Vézère, la Dordogne et les Causse de Quercy. Ce noyau n'est relié au massif cristallin que par quelques localités du Causse de Gramat qui n'assurent pas de véritable continuité entre ces deux unités géographiques. Vers l'ouest, quelques localités situées de part et d'autre de la vallée de la Dordogne posent le problème d'une ancienne continuité entre les peuplements périgordins et ceux, rares il est vrai, qui subsistent encore dans l'Entre-Deux-Mers, au sud-est de Bordeaux.

A la limite septentrionale de l'Aquitaine (*sensu stricto*) — Périgord Blanc, sud-ouest de la Charente — l'extrême dispersion et la rareté du hêtre s'opposent à sa densité plus élevée dans les peuplements méridionaux.

L'analyse factorielle des correspondances sur ordinarité des ensembles forestiers comportant du hêtre a permis la mise en évidence d'un certain nombre d'unités phytosociologiques se classant en deux groupes distincts, chacun parfaitement superposé à l'un des deux secteurs géographiques précités : Périgord et Quercy d'une part, Aquitaine méridionale d'autre part.

a) Secteur quercyno-périgordin.

L'analyse permet de distinguer trois groupements principaux, parfaitement bien individualisés, sur sols argilo-calcaires ou franchement calcaires, essentiellement liés à l'humidité plus ou moins importante du substrat :

— la *charmaie humide*, sur substrat humide et frais, caractérisée par la forte dominance du charme auquel s'associent quelques essences secondaires telles que le frêne, le tilleul et plus rarement le hêtre. L'analyse floristique révèle la présence de diverses espèces comme compagnes du hêtre dans l'aire optimale de ce dernier : *Oxalis acetosella*, *Helleborus viridis* ssp. *occidentalis*, *Lamium galeobdolon*, *Lilium martagon*...

— la *chênaie-charmaie-hêtraie*, sur substrat moyennement humide où dominent tour à tour le chêne pubescent, le charme et le hêtre. Elle abrite également un certain nombre de « compagnes » du hêtre : *Carex digitata*, *Polygonatum multiflorum*, *Asperula odorata*, *Luzula sylvatica*, *Scilla bifolia*, *Phyteuma spicatum* var. *ochroleuca*.

— la *chênaie-hêtraie* qui représente le faciès le plus frais de la chênaie pubescente contiguë et dont la flore comporte surtout des espèces de cette dernière.

b) Aquitaine méridionale.

La discrimination d'unités phytosociologiques précises s'avère plus délicate qu'en Périgord, en raison de leur degré d'individualisation moindre. On peut distinguer, de manière très schématique :

— un groupement assez net (A) dont la plupart des relevés appartiennent à la zone du Plantaurel et des Petites Pyrénées. Il s'agit de chênaies-hêtraies dont le chêne dominant est *Quercus pubescens* et dont les deux caractéristiques locales principales sont *Geranium nodosum* et *Anemone hepatica*.

— un ensemble assez hétéroclite de chênaies-hêtraies dont le chêne dominant est toujours *Quercus pubescens*. Nous l'avons subdivisé en deux groupements dont l'aire géographique se limite à un polygone du Gers assez réduit pour le premier (B), aux territoires des groupes (A) et (B) réunis pour le second.

— un troisième ensemble, très important, correspondant à la partie sud-occidentale de l'Aquitaine, depuis le Gers et la Bigorre jusqu'à la limite des Landes,

aux environs de Peyrehorade. Nous l'avons subdivisé en plusieurs groupements plus ou moins bien individualisés dont la flore varie principalement en fonction de l'acidité et de l'humidité du sol. Le chêne dominant, correspondant au climat de la région, est *Quercus robur*. C'est dans cette région que peuvent encore être observés les plus beaux peuplements de hêtre.

2°) *Aperçu sur l'influence des conditions écologiques stationnelles.*

a) *L'amplitude édaphique du hêtre en Aquitaine.*

L'observation et l'analyse d'un nombre important de profils pédologiques prouvent que l'essence présente une remarquable amplitude d'adaptation à la variété des roches-mères, ce qui explique ses possibilités d'intégration à la plupart des groupements forestiers d'Aquitaine. Il colonise aussi bien les sols calcimagnésiques, riches en bases, que les sols acides très évolués. Toutefois, il est totalement absent des podzols et sols podzoliques; le type ocre podzolique représente une limite qu'il semble incapable de franchir. C'est ce qui explique, en partie, son absence totale du plateau landais.

Néanmoins, cela pose le problème du processus de podzolisation sous forêts de feuillus en Aquitaine. En effet, le plus souvent, lorsque les deux conditions roche-mère très pauvre, acide et litière épaisse se trouvent réalisées sous chênaie-hêtraie, le sol correspondant tend à se podzoliser.

Par ailleurs, le hêtre supporte une certaine hydromorphie du sol (pseudogleys ou gleys de profondeur) mais il disparaît dès que le phénomène affecte les horizons de surface. À l'inverse, il s'accommode de sols filtrants, à faible capacité de rétention en eau, même en profondeur. La mesure des principales caractéristiques mésoclimatiques des localités correspondantes permettra d'apprécier s'il existe un processus de compensation par le climat des déficiences hydriques du sol.

Enfin, l'essence peut croître sur des sols relativement compacts; elle est éliminée des sols trop limoneux ou trop argileux, lorsque la porosité totale s'abaisse en-dessous de 40 %.

b) *Influence des conditions climatiques stationnelles.*

La comparaison entre l'aire ombrothermique du hêtre en France méridionale et son aire aquitaine met parfaitement en évidence la situation marginale de cette dernière, décalée vers le secteur le plus sec et le plus chaud. C'est ce qui explique la recherche par l'essence des versants nord affectés par une correction hygro-ombrique qui lui est favorable.

La définition expérimentale, pour une période donnée, des principales caractéristiques mésoclimatiques de ver-

sants opposés (adrets et ubacs) en Chalosse et en Périgord a permis de mesurer l'importance de cette correction ombrothermique et, par là-même, de préciser l'une des limites climatiques du hêtre.

Cette expérimentation met en évidence la prépondérance de deux facteurs limitants principaux :

- les températures maximales à la surface du sol,
- le degré hygrométrique atmosphérique minimal.

Les températures maximales de basses couches de l'atmosphère jouent également un rôle limitant sur la croissance des jeunes arbustes mais il semble bien que, à la limite écologique de son aire, le hêtre soit davantage subordonné aux possibilités de germination des faines, liées aux exigences thermiques régnant au niveau du sol qu'à l'impossibilité absolue de se développer dans des stations d'où il est actuellement éliminé. Une fois le stade de germination franchi, il résiste mieux aux agents climatiques défavorables et pourrait croître dans des biotopes moins propices à son développement.

En ce qui concerne le degré hygrométrique atmosphérique minimal, les mesures mésoclimatiques réalisées tant en Périgord qu'en Chalosse prouvent que cette variable n'atteint jamais des valeurs moyennes suffisamment basses dans ces deux régions, même sur les adrets, pour expliquer à elle seule l'absence du hêtre sur ces versants. En fait, il existe entre les deux principaux facteurs limitants un jeu de compensation dont la somme des effets est beaucoup plus explicative que la germination et de la croissance du hêtre que chacun d'eux considéré isolément.

En définitive le facteur fondamental de sélection stationnelle pour l'essence est la topographie. L'amplitude climatique correspondant aux hêtraies montagnardes avoisinantes dépasse de beaucoup celle des chênaies-hêtraies d'Aquitaine. La variation topographique par le jeu de mésoclimats liés à l'exposition, rétablit une partie de cette amplitude, donc permet l'extension du hêtre et augmente, en même temps, l'élasticité édaphique de la série.

c) *Les facteurs biotiques.*

L'étude précise des facteurs biotiques n'a pas encore fait l'objet d'expériences suffisamment précises. Cependant, un certain nombre d'observations tend à prouver que l'incidence de certains animaux sur l'avenir de la faine est loin d'être négligeable (en particulier les rongeurs frugivores et les limaces), dans une région où cette dernière est, le plus souvent, peu abondante. Une étude expérimentale actuellement en cours permettra de définir d'une manière plus précise la responsabilité qui incombe à ces animaux dans le cycle de régénération naturelle du hêtre.

M. BOUCHÉ. — *Etude écologique, morphologique et géonémique des vers de terre en France; aspects méthodologiques; conséquences phylogéniques et chorologiques*. Thèse Faculté des Sciences de l'Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, soutenue le 5 février 1972 (1).

Un échantillonnage méthodique des lombriciens, sur l'ensemble de la France métropolitaine, a fourni une abondante source d'informations originales qui est publiée dans un ouvrage de synthèse (Bouché, M. B., 1971. Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Editions de l'I.N.R.A. Paris, environ 700 pages).

La thèse proprement dite, soutenue sur une partie de l'ouvrage, porte sur les aspects méthodologiques, les interprétations morphologique et écologique, la systématique et la biogéographie.

La partie méthodologique est consacrée notamment aux moyens d'acquisition d'informations en écologie (aspects descriptifs, fonctionnels, éthologiques, etc.), particulièrement aux procédés originaux utilisés par l'auteur. Les caractéristiques des milieux sont relevées d'une manière globale, c'est-à-dire indépendamment des coupures disciplinaires traditionnelles, et intégrée autrement dit compatible avec le traitement par ordinateur et les échanges interdisciplinaires continus. Les méthodes mises en œuvre obligent à une organisation cohérente et ordonnée des étapes du travail et permettent des interprétations élaborées. Elles ont été développées pour deux objectifs importants :

1°) l'analyse approfondie d'un écosystème prairial (Cîteaux) dont certains résultats préliminaires sont sommairement dégagés (travail complété par des collaborations à des programmes coopératifs des R.C.P. et du P.B.I.

2°) l'étude descriptive des composants de biocénoses variées (plus de 1400 stations réparties sur l'ensemble de la France).

Ces deux recherches écologiques, conçues dans une perspective interdisciplinaire, ont été « focalisées » sur les lombriciens. Les analyses quantitatives fonctionnelles de Cîteaux étant en cours de dépouillement, ce sont essentiellement les conclusions de l'étude des corrélations spatiales « facteurs du milieu-vers de terre » qui sont présentées sous divers aspects. Néanmoins, l'expérience acquise dans ce domaine méthodologique place l'étude des lombriciens actuellement conduite à l'I.N.R.A. dans une position favorable au développement des recherches théoriques, technologiques et appliquées d'écologie intégrée. En effet, l'utilisation des moyens de l'informati-

que favorise, outre la diminution des erreurs et la puissance de l'analyse, la formalisation des connaissances et oblige à des choix concrets et rigoureux. Les techniques d'acquisition des caractéristiques accumulables en banque de données constituent un moyen essentiel bien adapté aux études d'écologie fonctionnelle d'une part, et aux analyses des corrélations spatiales de stations variées d'autre part, car elles permettent d'associer à des problèmes complexes de puissants moyens de dépouillements. Les applications de ces méthodes, qui font encore gravement défaut, favoriseront les interventions raisonnées et rationnelles sur les milieux naturellement équilibrés (aménagement du territoire, agronomies prairiale et forestière). Pour l'étude des corrélations spatiales « facteurs du milieu-vers de terre » il a été effectué, outre l'étude faunistique, des analyses de sols (carbone, azote, pH, carbonates, texture) et des notations ayant trait à la topographie et à la végétation. Les caractéristiques qui le permettaient ont fait l'objet de traitements mathématiques et cartographiques par ordinateur.

L'interprétation originale de la morphologie des vers de terre a porté sur :

- a) la relation entre les caractères somatiques et le mode de vie des animaux conduisant à la définition de trois catégories écologiques principales,
- b) les corrélations fonctionnelles entre les divers organes sexuels (notamment l'interprétation des « génitalia » épidermiques a été présentée pour la première fois de façon cohérente),
- c) les incompatibilités spatiales des divers organes d'un ver.

Certains taxons supraspécifiques ont été définis à partir de cette interprétation morphologique, en dégageant les liens phylogéniques des éléments qui les constituent. Ce nouveau système, où les taxons infragénériques s'ordonnent à partir de l'espèce-type du genre dans un ordre naturel, coexiste avec une taxonomie traditionnelle pour tous les groupes dans lesquels un classement naturel n'a pu être solidement établi.

La densité spatiale des prélèvements, jointe à l'unicité de l'interprétation des taxons élémentaires, a permis un traitement par cartographie automatique illustrant de nombreux phénomènes relatifs aux possibilités intrinsèques et extrinsèques de dispersion des taxons et à l'histoire des aires de répartition.

En effet, le contour des aires ne peut être que rarement expliqué d'une façon unifactorielle par exemple en relevant quelques coïncidences cartographiques. Il faut tenir compte simultanément de la mobilité propre à l'espèce (dépendant des caractères morphologiques,

(1) Archives originales C.N.R.S., n° AO 6533.

écologiques, etc.) et des contraintes ou possibilités présentées par le milieu, ces deux aspects étant considérés non seulement en l'état actuel mais en tenant compte de l'histoire des territoires et de l'évolution des taxons. Les vers de terre constituent, de ce point de vue, un matériel de choix.

Les groupes à faible pouvoir de dispersion (mauvais brassage génique) sont ceux qui présentent de nombreuses particularités locales (endémisme) ; par leur répartition, ils témoignent de leur phylogénèse et, souvent, de la paléogéographie. Ainsi, la corrélation géonémie-phylogénèse justifie les interprétations morphologiques qui ont présidé à la définition des taxons supraspécifiques. A l'opposé, les formes « mobiles » ont une systématique arbitraire, sans relation avec leur répartition. La géonémie nous renseigne ainsi sur les possibilités de brassage génique, dépendantes du mode de vie et avale la conception des catégories écologiques. Enfin, la paléogéographie a permis d'établir une relation entre l'ancienneté croissante des aires et l'élévation dans la hiérarchie taxonomique.

L'analyse mésologique a été abordée de façon analytique monofactorielle puis, de façon synthétique, multifactorielle.

L'interprétation monofactorielle a conduit au classement des différentes espèces, les unes par rapport aux autres, pour chacune des caractéristiques étudiées. En outre, les taxons ont été jugés en fonction de leur sténopie relative, pour chaque facteur écologique abordé, à l'aide du coefficient d'eurytypie.

L'analyse multifactorielle a porté sur différents aspects :

- les affinités mésologiques, en se référant aux caractères des milieux étudiés par l'analyse multivariable,
- les affinités spécifiques (formule de Jaccard) permettant d'apprécier le degré de coexistence des taxons et ce malgré certaines faiblesses techniques,
- le coefficient d'exocécie de chaque population qui permet d'apprécier l'éloignement de celle-ci par rapport à l'optimum écologique global de son taxon,
- le degré d'abiotisme de chaque station qui mesure le caractère plus ou moins favorable de celle-ci pour les vers de terre.

Les lombriciens, se nourrissant tous de matières organiques mortes, sont, de ce fait plus ou moins intercompétiteurs. Les phénomènes de compétition se traduisent par diverses modalités (cohabitation, avec similitude des exocécies et catégories écologiques distinctes; vicariance, avec affinités mésologiques et catégories écologiques similaires; etc.) qui peuvent s'interpréter, le plus souvent, en ne considérant que les vers de terre, ce qui témoigne de leur nette domination fonctionnelle dans

le groupe des saprophages. Les lombriciens peuvent être considérés comme étant les animaux fonctionnellement les plus importants dans la plupart des écosystèmes tempérés du Vieux Monde, non seulement en raison de leur biomasse (couramment 1 à 2 t/ha) et de leur activité métabolique, mais surtout à cause de leur fonction stimulatrice sur la vie microbienne des sols observables, par exemple, par l'évolution du rapport C/N.

En conclusion, les recherches entreprises ont permis de fonder, en un tout cohérent et essentiellement explicatif, les analyses morphologique, mésologique et géonémique qui touchent différentes disciplines (écologie, systématique, chorologie paléontologie, pédologie, etc.). Grâce à la multiplicité des modes d'étude, les interprétations proposées ont évité certaines tautologies classiques, notamment celles relatives à la phylogénèse et à la compétition. L'ensemble des résultats précise la fonction écologique des lombriciens et autorise l'abord, sur une large base, des problèmes agronomiques relatifs à ces animaux. Les techniques développées, conduisant logiquement aux travaux interdisciplinaires intégrés, devraient favoriser la transposition dans la pratique des connaissances acquises sur les vers de terre.

J. VERNEAUX. — *Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de Biotypologie.* Thèse de Doctorat d'Etat soutenue à la Faculté des Sciences et des Techniques de l'Université de Besançon, le 10 novembre 1973. N° ordre : 84, n° enregistrement C.N.R.S. : A.O 8823, 260 p. 27 tableaux, 61 figures. (*Ann. Scient. Univ. Besançon Zool.*, sous-*presse*).

Les recherches écologiques, effectuées dans le contexte d'un essai biotypologique sur 12 cours d'eau du bassin du Doubs (massif du Jura), à partir de 224 espèces de poissons Téléostéens et d'insectes à larves aquatiques, sont exposées en quatre parties respectivement consacrées à :

- la mise en évidence des caractères généraux du bassin versant et du réseau hydrographique,
- l'étude analytique de l'environnement, dissocié en composantes biotiques (espèces) et abiotiques (paramètres),
- l'analyse mathématique des deux séries de composantes, aboutissant à la proposition d'une biotypologie du réseau et d'un certain nombre de données écologiques se rapportant à la fois aux cours d'eau et aux espèces,
- l'examen de quelques problèmes écologiques généraux, susceptibles d'application, dans le contexte de la typologie.

PREMIÈRE PARTIE

1. Les 12 cours d'eau étudiés constituent un réseau de 832 km dans un bassin versant approché de 7 700 km² qui, situé entre la plaine de la Saône et la chaîne helvétique, recouvre la partie septentrionale du Jura et le versant méridional des Vosges.

2. La formation de l'actuel réseau hydrographique est liée à une *histoire géologique régionale fort complexe*. En dehors des réseaux et des karsts archaïques existant dès la fin du Crétacé, le réseau hydrographique le plus ancien, centré sur le Danube, remonte au Pontien (ou à la base du Pliocène); au cours du Pliocène, ce système est capturé au profit du Doubs et un Aar-Doubs s'écoulant en direction du lac bressan dépose des matériaux vosgiens et alpins dans la région de Chaux. Au début du Quaternaire, l'Aar et le Rhin sont détournés en direction du nord et le prolongement du glacier alpin s'étend sur une grande partie du Jura en laissant des nunataks sur les points hauts.

A la suite de déformations tectoniques diverses de plusieurs captures et changements du sens d'écoulement des eaux, on peut estimer qu'il y a 600 000 ans les grandes lignes du réseau hydrographique étaient tracées dans leur actuelle disposition.

3.4. L'hydrologie du bassin est marquée par l'alternance des niveaux perméables et imperméables des couches du *Jurassique* et par la présence d'un *karst* important : un réseau souterrain aux anastomoses compliquées alimente la plupart des « sources » (exurgences et résurgences) dont les eaux, alcalines et fortement minéralisées, parfois chargées en chlorures et sulfates au contact du Trias, sont plus ou moins contaminées. Quelques « sources vraies » de nappe ou de drainage superficiel font exception dans la forêt de Chaux et au niveau des marais et tourbières.

Les sols typiques du Jura sont des rendzines évoluant vers les sols bruns qui constituent le fond des terres cultivées et des forêts de feuillus.

5. Le climat du bassin présente un caractère continental et une tendance océanique diversifiés par l'altitude, l'orientation des versants et la morphologie des vallées.

Le régime hydrologique pluvio-fluvial, nuancé par l'altitude, présente un caractère torrentiel et le régime thermique général des eaux est marqué par l'atteinte d'un optimum en juillet correspondant au débit moyen mensuel minimum.

6. Prairies et forêts, occupant 78 % de la surface totale du bassin, constituent le fond du paysage botanique et 6 % seulement du territoire reviennent au secteur non agricole.

Le réseau hydrographique assure l'alimentation en eau et reçoit les rejets du métabolisme privé et collectif d'une population d'environ 750 000 habitants; aux apports d'origine agricole gagnant directement ou indirectement le réseau (karst), s'ajoutent les effluents d'environ 10 000 établissements à caractère industriel les principaux centres de *pollution* étant constitués par le complexe Belfort-Sochaux-Montbéliard (réseau de l'Alain) et l'agglomération bisontine.

DEUXIÈME PARTIE

L'analyse de l'environnement abiotique (le milieu au sens strict) est effectuée à partir de 25 composantes, dont 14 se rapportent à la qualité de l'eau, et celle des peuplements d'après la répartition semi-quantitative de 224 espèces de poissons Téléostéens et insectes à larves aquatiques (Plécoptères, Ephéméroptères, Trichoptères), sur 123 stations régulièrement prospectées durant six années (1966-1972).

1. Composantes mésologiques.

En dehors des composantes géoclimatiques présentant un caractère synthétique, trois groupes de paramètres, morpho-dynamiques, thermiques et trophiques, sont définis puis confrontés au cours de l'examen des caractéristiques et de la diversité du système étudié.

Si les émergences sont, pour la plupart, des exurgences et des résurgences de basse montagne (600-350 m), le Doubs lui-même naît d'une exurgence plus élevée (940 m) et des « sources vraies » existent en montagne (930 m) comme en plaine (250 m).

- des débits relativement importants sont relevés en montagne et des débits très faibles en plaine, bien que la tendance générale soit inverse; il en est de même pour la pente;

- des températures estivales basses ou relativement élevées sont relevées à toutes les altitudes;

- bien qu'une correspondance générale obligatoire s'établisse, le long de chaque cours d'eau, entre pente, B.V., débit, distance aux sources et température, le réseau considéré ne présente pas, à l'exception des cours inférieurs du Doubs et de la Loue, une coïncidence nette entre les variations de ces différents paramètres et permet ainsi d'échapper à la concordance généralement relevée entre altitude, pente, débit et température.

Les valeurs portées sur la matrice des données correspondent, d'une part aux moyennes diurnes relevées entre juillet et octobre, en périodes d'étiage et de basses eaux, entre 1967 et 1972, d'autre part aux 5 classes numériques établies pour chaque paramètre en fonction des repères généraux proposés antérieurement (NISBET et VERNEAUX, 1970) et de l'amplitude des variations de chaque composante dans le bassin.

2. Le « facteur pollution ».

Exprimé par des valeurs conventionnelles établies selon la méthode des « indices biotiques » (VERNEAUX et TUFFERY, 1967), figure sur la matrice des données ; un graphique des variations indicielles et une carte de la qualité des eaux montrent que sur les 12 cours d'eau étudiés, 3 seulement présentent une qualité biologique acceptable. La situation aquatique est qualifiée de normale ou subnormale pour 46 % de la longueur totale du réseau, de douteuse pour 31 % et de très compromise pour 23 %.

3. Les espèces de 4 ordres participent à l'analyse : Téléostéens (35 espèces), Plécoptères (45 espèces), Ephéméroptères (40 espèces) et Trichoptères (104 espèces).

L'accent est mis sur la nécessité d'adapter l'obtention et l'expression des données à l'échelle de travail, qui est ici la station et non l'habitat, à la nature de la faune considérée ainsi qu'au traitement mathématique choisi. Dans le cas présent, le critère présence-absence s'est révélé insuffisant et l'utilisation de données numériques brutes inadaptee ; après un exposé des techniques d'échantillonnage, 5 classes d'abondance relative sont établies, pour chaque espèce dans le cas des poissons et pour chaque famille dans le cas des insectes à larves aquatiques, à partir des repères numériques constitués par les abondances relatives.

Les matrices des données biologiques, où chaque espèce figure dans sa classe d'abondance relative en regard de chaque station, figurent à la suite du répertoire des espèces où sont mentionnés les noms vernaculaires et les synonymes usuels, les citations régionales antérieures, les références des ouvrages taxonomiques ainsi que le nombre de stations où chaque espèce fut recensée.

TROISIÈME PARTIE

Les informations biotiques et abiotiques sont traitées à l'ordinateur (Univac 1108) à l'aide d'une méthode d'analyse typologique qui, conservant le caractère global de l'écosystème, aboutit à la proposition d'une biotypologie du réseau et de données écologiques relatives aux cours d'eau eux-mêmes et aux espèces.

1. La méthode utilisée, dans laquelle on distingue les phases descriptive et interprétative, explicative puis représentative, ainsi que les bases d'interprétation des résultats, sont exposées au cours de l'étude des structures mésologiques et biologiques de la rivière Loue.

« L'analyse factorielle des correspondances » présente l'intéressante particularité d'extraire des données, les distributions simultanées des sujets (stations) et des caractères (espèces) dont les liaisons peuvent être perçues d'emblée sur le même graphique.

La distribution des espèces et des stations dans le plan des deux premiers axes factoriels (représentant 80,6 % de l'inertie expliquée dans le cas de la structure ichtyologique de la Loue), matérialisant l'organisation d'éléments définis les uns par rapport aux autres, permet :

- de vérifier l'existence et de repérer le type d'une structure ;

- de distinguer les groupements d'espèces dans l'ordre de leur succession structurale ;

- d'apprécier les affinités réciproques des espèces et des stations ;

- de discuter les positions des espèces et des stations par rapport à la courbe structurale, aux axes et à leur origine.

Après vérification de la validité des résultats de l'analyse ichtyologique par de nombreuses « pêches électriques » de contrôle, les analyses ont été étendues aux trois ordres d'insectes aquatiques (analyses biologiques partielles) puis à l'ensemble des espèces (analyse biologique globale) et des paramètres (analyse mésologique).

Les analyses partielles, qui sont en réalité synthèses, permettent de définir pour chaque faune un certain nombre de groupements écologiques se succédant le long de structures du même type ; l'analyse biologique globale conduit à retenir l'existence de 4 groupements principaux et de 12 noyaux d'affinités structurales.

Dans tous les cas, la distribution des espèces s'effectue dans l'ordre de la succession des stations le long du cours d'eau, selon une courbe en U du même type apparaissant dans le plan des deux premiers facteurs d'analyse représentant de 75 à 88 % de l'inertie totale.

Chaque espèce ne figure qu'en un seul point de la structure (locus typologique) dont la signification est définie par rapport aux axes et leur origine ainsi que par rapport à la courbe structurale passant par les points espèces présentant les plus fortes contributions aux axes.

La structure d'un cours d'eau constitue l'expression synthétique de trois phénomènes distincts : la succession progressive ordonnée des espèces et des stations le

long d'une courbe typique, l'existence statistique de groupements écologiques d'espèces et l'occurrence d'accidents mésologiques constituant d'éventuelles discontinuités.

L'analyse des correspondances paramètres-stations souligne l'absence d'une structure mésologique du même type bien que l'organisation des stations selon le premier axe permette de définir une hiérarchie des composantes propre au cours d'eau et d'examiner les significations probables des axes : facteurs d'évolution progressive du milieu et des peuplements (1^{er} axe), de complexité (ou d'hétérogénéité) des peuplements (2^e axe).

2. L'existence d'une structure biologique typique, obtenue dans l'espace abstrait, est vérifiée pour les différents cours d'eau du bassin, puis à l'échelle du réseau hydrographique considéré comme un système unitaire, afin de passer des structures particulières au concept typologique proprement dit.

La confrontation des structures des 12 cours d'eau du bassin met en évidence la permanence d'une structure biologique typique ainsi que celle de l'organisation des paramètres le long du premier facteur d'analyse (d'évolution progressive).

L'examen des structures de deux systèmes très différents (Dessoubre et Doulonnas), ne possédant que 30 % d'espèces communes, met en évidence l'existence de successions d'espèces, de hiérarchies mésologiques et d'accidents écologiques propres à chaque cours d'eau, constituant des obstacles essentiels à l'établissement de classifications des eaux courantes dans l'espace géographique contingent, et souligne en même temps le caractère intégrateur des espèces.

L'hypothèse biotypologique émise à la suite de l'étude de la Loue se trouve à la fois renforcée par la mise en évidence d'une organisation générale typique d'éléments structuraux communs et affaiblie par le nombre des caractéristiques biologiques propres à chaque cours d'eau.

3. La démarche typologique étant définie, il convenait de déterminer les affinités typologiques entre les stations appartenant à des cours d'eau différents et de vérifier à l'échelle du bassin si les particularités ne l'emportent pas sur un « essentiel commun » se réduisant au fur et à mesure que la diversité du système étudié augmente.

Les structures partielles et globales sont établies à partir des données recueillies sur 123 stations jalonnant le réseau hydrographique du Doubs considéré comme un système unitaire.

A la suite de l'examen des significations typologiques des ordres étudiés, 9 groupements écologiques, appelés « biocénotypes » sont définis le long de la structure

biologique globale du bassin ; ils constituent les bases d'une biotypologie des systèmes d'eau courante.

La situation de chaque station, ou de chaque cours d'eau, est interprétée en fonction de la structure typologique de référence ; les caractéristiques d'un système aquatique donné sont autant exprimées par sa structure elle-même que par les distances des stations aux différents « niveaux typologiques » ; la préférence est donnée aux structures plutôt qu'aux types de milieux.

Une analyse mésologique globale permet de préciser les interventions de 3 séries de composantes, thermiques, morpho-dynamiques et trophiques, dans l'établissement d'une typologie à l'échelle du réseau.

Les structures biologiques des 12 cours d'eau du bassin sont alors confrontées à la structure typologique de référence et interprétées en fonction des éléments définis au cours de la première partie.

Un « commun essentiel » apparaît à l'échelle du réseau sous la forme d'une structure biologique typique, partiellement expliquée par un certain nombre de « facteurs » géoclimatiques, thermiques, morpho-dynamiques et trophiques ; la personnalité de chaque cours d'eau, exprimée par sa structure, est d'autant plus originale qu'elle s'écarte de la courbe théorique sous l'effet d'accidents écologiques naturels ou artificiels.

La typologie, conceptuelle et prévisionnelle, constitue un modèle qui suit les données et non l'inverse ; elle offre cette double possibilité de rendre compréhensible chaque structure et de rapporter les stations à des niveaux typologiques définis par leurs biocénotypes.

Chaque cours d'eau possède sa propre hiérarchie mésologique et l'action de chaque composante sur les peuplements est liée aux valeurs des autres paramètres et s'exerce à une certaine échelle dimensionnelle ; le fait qu'à des groupements différents de valeurs paramétriques peuvent correspondre des biocénoses semblables conduit à définir des « complexes mésologiques équivalents » et souligne le caractère intégrateur des espèces dont le pouvoir d'adaptation est partiellement exprimé par leur position typologique, liée à leur degré global d'euryécie.

4. Au cours d'un retour à l'espace géographique, les peuplements des 9 niveaux typologiques sont reconstitués afin d'examiner, à la lumière des données typologiques, les significations écologiques susceptibles d'être attribuées aux espèces et à leurs associations.

L'image biologique de chaque niveau est complétée par la prise en compte des macrophytes et des espèces d'autres faunes (Mollusques, Crustacés, Hirudiniées, Planariées, Odonates...).

Le caractère transitoire des biocénoses, souligné par la juxtaposition des spectres écologiques dans les pe-

plements, constitue un obstacle essentiel à l'élaboration de classifications dans l'espace géographique qui disparaît lorsque l'on passe, dans le plan abstrait de la typologie, à une organisation *a noda*.

Les modalités d'une éventuelle généralisation du modèle initial et de ses applications sont définies au cours de l'examen de la détermination pratique de l'appartenance typologique de la Seine à Montereau, qui est apparentée au 9^e niveau typologique.

Le remplacement du modèle initial (distribution typologique complète) par un tableau pratique de détermination des appartenances typologiques est effectué à partir de la faune ichtyologique; il est proposé d'en retenir le principe pouvant conduire à la réalisation d'un certain nombre de protocoles standards susceptibles d'être appliqués à la résolution d'un certain nombre de problèmes pratiques.

QUATRIÈME PARTIE

Les résultats de la typologie, cette «écologie en grand», sont confrontés à un certain nombre de problèmes écologiques généraux dans le double but de vérifier la validité des significations attribuées aux données typologiques et de dégager un certain nombre d'éléments susceptibles d'application.

1. Après un rapide examen des périodes de vol, une certaine correspondance entre les dates des premières éclosions et la distribution typologique des espèces est mise en évidence; la liaison entre la *chronologie des éclosions* et la succession typologique des espèces est effectuée par l'intermédiaire des composantes thermiques.

2. L'analyse des relations entre espèces et degrés de pollution des eaux souligne l'existence d'une correspondance générale entre les *polluosensibilités* et les appartenances typologiques, nuancée par l'existence de polluosensibilités différentes à l'intérieur d'un même biocénotype.

Une gamme initiale de polluosensibilités est proposée à partir de la distribution typologique des espèces et des polluosensibilités particulières et quelques points essentiels sont soulignés:

- dans les groupes considérés les *absences* sont davantage significatives d'un degré donné de pollution que les présences;

- la saprobiontie constitue une caractéristique écologique des espèces distinctes de la polluosensibilité;

- les critères d'appréciation de l'intensité des pollutions et les «normes de qualité» sont rapportés aux

différents niveaux typologiques dont les caractéristiques et les exigences sont fondamentalement différentes.

3. L'observation d'une correspondance générale entre le degré de minéralisation des eaux, des polluosensibilités et la structure typologique, conduit à tenter de séparer les *phénomènes d'eutrophisation* au sens strict, du syndrome de pollution.

La confrontation des peuplements et des paramètres associés, fait apparaître les phénomènes d'eutrophisation non comme une cause (saprotrophie et minéralisation) mais comme l'effet biologique inverse de l'effet de pollution, conduisant à un état d'eutrophie défini par une abondance maximale en organisme consommateurs dans la diversité optimale.

L'absence d'une «succession physiographique» déterminée et déterminante et l'existence d'une structure longitudinale fondamentale soulignent l'utilité de rapporter la notion d'eutrophie aux différents niveaux typologiques, la productivité optimale dans la diversité maximale étant relative à un biocénotype donné.

Dans la conception exposée, le maintien des conditions d'eutrophie rejoint la préservation des systèmes oligotrophes et la réduction des pollutions pour constituer les objectifs essentiels des actions d'aménagement.

4. Au terme d'une recherche synécologique, dont l'objet principal est constitué par «l'individu cours d'eau», un retour aux données initiales, composantes et espèces, est effectué pour vérifier dans quelle mesure les *locus* typologiques constituent des expressions synthétiques des caractéristiques écologiques des espèces; la reconstitution partielle des *spectres écologiques* d'un certain nombre d'espèces occupant des positions typologiques variées permet d'aborder le problème des définitions autécologiques.

Les spectres écologiques partiels de 12 espèces sont représentés par des diagrammes polygonaux mettant en évidence les particularités écologiques des espèces et permettant d'apprécier leur degré global d'euryécie ainsi que leur tolérance vis-à-vis de chaque paramètre.

Les observations effectuées confirment la réalité des significations typologiques proposées, l'écologie générale de l'espèce étant exprimée par son appartenance typologique et par sa distance à la courbe structurale et à l'origine des axes.

L'obtention d'un spectre écologique à partir de valeurs extrêmes ne signifie pas que ces dernières soient ou puissent être atteintes conjointement par l'espèce; l'existence de multiples *combinaisons paramétriques équivalentes* à l'intérieur des spectres écologiques est précisée pour un certain nombre d'espèces.

Les *changements d'habitats*, naturels et imposés, sont intégrés dans ce contexte plus général où la *vitesse d'écoulement*, se rapportant davantage au milieu qu'aux espèces, apparaît comme un moyen diversement utilisé par ces dernières pour réaliser différentes combinaisons des autres composantes.

La *relativité des actions des facteurs sur les espèces*, l'aspect changeant des relations entre espèces et composantes conduisent, dans une conception dynamique de l'écologie, dominée par le sens de la relativité des faits, à aborder les problèmes autoécologiques avec cette idée initiale qu'un facteur isolé n'est pas davantage déterminant que la présence d'une espèce n'est *a priori* significative.

La *position typologique* d'une espèce possède une signification écologique globale intéressante et la typologie apparaît à la fois comme un *cadre cohérent* dans lequel peuvent s'intégrer les données synécologiques et comme un modèle d'où peuvent être extraites les bases des activités appliquées à la préservation, l'aménagement et l'exploitation des eaux courantes.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ayant choisi de considérer les cours d'eau eux-mêmes, le réseau hydrographique, comme l'objet de recherches effectuées aux grandes dimensions, toute une partie de l'écologie, traitant des relations entre espèces, est demeurée marginale, obligatoirement incluse mais non analysée.

Les espèces, comme les paramètres, ont d'abord été considérées comme les unités, les « outils » permettant l'analyse de l'écosystème avant que les résultats typologiques ne leur soient appliqués en retour.

La démarche suivie et les résultats obtenus, d'abord dans le plan abstrait de la typologie, puis dans l'espace géographique où ils ont été reportés, sont conformes à ces objectifs initiaux ; ils ne présentent toutefois un intérêt réel que dans la mesure où dépassant l'aspect monographique, d'ailleurs bien incomplet, ils permettent d'intégrer des données écologiques générales, de dégager des principes et des éléments susceptibles d'application.

Dans son étude sur les Plécoptères et Coléoptères pyrénéens, BERTHELEMY (1966), ayant établi un certain nombre de relations entre les affinités phylogéniques et la différenciation écologique des espèces, souligne que « si la systématique fournit un cadre cohérent dans lequel peuvent s'intégrer les données autoécologiques... un tel cadre fait défaut à la synécologie », une fois exclue de cette discipline la description méthodique des milieux et des peuplements.

Jusqu'à présent le cadre des études synécologiques était constitué par leur objet lui-même c'est-à-dire l'écosystème considéré, en l'occurrence « l'individu cours d'eau », qui, identique à aucun autre, ne permet guère de dépasser sa propre réalité ; les mêmes limites sont imposées aux schémas verticaux établis dans l'espace géographique bien qu'ils présentent le mérite de poser le problème de la définition d'un certain ordre perçu.

La nécessité de disposer d'un système de référence est fortement ressentie par les organismes d'application ne disposant guère pour encadrer leurs activités que de la « règle des pentes » ou de la « zonation dimensionnelle » se révélant bien insuffisantes lorsqu'il s'agit de définir des « objectifs », des « critères de qualité » ou les bases rationnelles des actions de préservation et d'aménagement.

La relativité essentielle des données écologiques, liée à l'extrême diversité des circonstances aquatiques, m'a conduit à rechercher un tel cadre dans l'espace abstrait qui présente l'avantage et l'inconvénient d'éviter les contingences de l'espace géographique.

Bénéficiant d'une espérance raisonnable de généralisation, la structure typologique apparaît comme le cadre susceptible d'intégrer les données synécologiques, les systèmes d'eau courante eux-mêmes aussi bien que les groupements d'espèces ; elle constitue le modèle initial, qui suit les données et non l'inverse, permettant d'aborder à partir de niveaux écologiques dont l'organisation est définie, les études physiologiques des écosystèmes d'eau courante et de définir un certain nombre de bases techniques.

A partir de l'hypothèse typologique, des recherches sont engagées depuis 1971 dans plusieurs directions :

— le modèle initial est vérifié, modifié et complété par l'adjonction « d'équivalents géographiques » à partir de l'analyse des données recueillies par d'autres auteurs et par l'étude de systèmes situés en divers points du territoire (Alpes, Ain, Champagne, Bassin Parisien, Bretagne, Massif Central, Picardie... Travaux du C.T.G.R.E.F.).

— les aptitudes typologiques des divers groupes systématiques sont recherchées parallèlement à l'examen de l'occurrence d'une biotypologie plus générale, à partir de l'étude de la distribution de l'ensemble des organismes aquatiques, des diatomées aux poissons, sur les 123 stations jalonnant le réseau hydrographique du Doubs (travaux de Messieurs BARBE, BERGET, COSTE, LAFONT, VERGON).

— les études physiologiques d'écosystèmes, visant à définir les mécanismes de l'organisation typologique et des phénomènes appréhendés, sont abordées avec prudence sur 12 stations représentatives des types et sous-

types écologiques précédemment définis (travaux de Messieurs DUMONT, MONNOT, ROFES).

La détermination des cycles biologiques et physico-chimiques, effectuée parallèlement aux études trophiques, nécessite non seulement un matériel coûteux mais également la réalisation d'études technologiques, de nombreuses méthodes et techniques devant être perfectionnées, en particulier au cours de l'analyse des sédiments fins et des matières en suspension ou de la recherche des micropolluants dans les organismes vivants. Nous retrouvons la difficulté soulignée précédemment, d'obtenir une représentation valable du milieu, l'omission d'un facteur essentiel, parfois déterminant, étant toujours possible dans le contexte mésologique général actuel.

Il a déjà été précisé que le modèle établi à partir du réseau hydrographique du Doubs doit être progressivement complété et modifié; je n'en retiens pour l'instant que la démarche et la structure générale, en soulignant que le cadre proposé ne doit pas devenir carcan et qu'en ce domaine comme ailleurs, il s'agit de rechercher, à défaut d'un ordre suprême, le juste équilibre entre la tyrannie et l'anarchie.

H. LAVILLE. — Recherches écologiques sur les Chironomides (Diptera) des lacs de montagne. Thèse Faculté des Sciences de Toulouse soutenue le 23 mars 1972 et publiée dans les *Annales de Limnologie*, tome IV, 1968, p. 275-324 et tome VII, 1971, p. 173-414.

PREMIÈRE PARTIE

Neuf lacs naturels du Massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées), étagés entre 2 100 m et 2 325 m d'altitude, sont décrits et les résultats de mesures physiques et chimiques, effectuées durant quatre années consécutives, sont donnés dans ce travail.

Dans le vallon d'Estibère quatre lacs (1,1 à 2,4 hectares — 3,2 à 5 m de profondeur) s'échelonnent de 70 en 70 m d'altitude. Ils constituent un remarquable exemple de l'évolution des ceintures végétales et du comblement des cuvettes par formation de tourbières. Quatre petits lacs du Vallon de Port-Bielh ont également été étudiés. Beaucoup plus important, le lac de Port-Bielh (16,5 hectares — 19 m de profondeur) a fait l'objet d'une étude suivie.

Selon leur altitude, ces lacs sont gelés 6 à 7 mois par an. Par leurs caractéristiques morphométriques et physico-chimiques, le lac de Port-Bielh et le lac Inférieur d'Estibère se différencient des 7 autres lacs.

Le lac de Port-Bielh.

Son régime thermique permet de le classer dans les lacs de type dimictique subpolaire. La stabilité thermique maximum se situe à la mi-juillet (106 à 128 g-cm. cm²); elle décroît ensuite progressivement et devient nulle début septembre. L'apport estival de chaleur (7 186 à 8 842 cal. cm⁻²) représente 43 % seulement du budget calorifique annuel évalué à 17 500 cal. cm⁻² pour 1968/69.

La transparence est élevée et la profondeur de visibilité du disque de Secchi est de 13,5 m en moyenne.

En été, l'eau faiblement minéralisée, a une conductivité électrique à 18 °C de l'ordre de 23 mhos. La conductivité augmente nettement en profondeur pendant l'hiver où elle peut atteindre 57 mhos. Les bicarbonates représentent 73 % à 93 % des sels totaux. La concentration en ions Ca⁺⁺ (3,5 à 4,4 mg/l) et Mg⁺⁺ (0,25 à 0,75 mg/l) augmente légèrement au niveau de la vase en hiver. Le fer est à l'état de traces pendant l'été; il atteint des teneurs de 1,5 mg/l au fond du lac en hiver.

Le pH, toujours basique, présente d'importantes variations (7,25 à 9,52). Il augmente progressivement au cours de l'été surtout au-delà de 10 m de profondeur où les valeurs sont généralement supérieures à pH 9 en août. Cette alcalinisation est la conséquence d'une diminution de la quantité de CO₂ libre qui devient pratiquement nulle en été. La quasi totalité du CO₂ total se présente alors sous forme de bicarbonates.

Une forte concentration en oxygène dissous (120 à 135 % des teneurs à la saturation) correspond aux valeurs élevées du pH en août. La circulation automnale ramène ces teneurs à une valeur proche de la saturation. Sous la glace, la consommation d'O₂ peut être évaluée à 0,01 mg/l/jour et la quantité d'oxygène dissous devient pratiquement nulle dans le fond du lac au mois de mars. La brève isothermie de printemps ne parvient pas à combler le déficit de l'hiver et les quantités d'O₂ n'atteignent les teneurs de saturation que vers la mi-juillet.

Les phosphates, les nitrates et la silice sont présents à de faibles quantités dans les eaux du Port-Bielh. Un appauvrissement en silice dans la zone profonde en août correspond aux sursaturations en O₂ et au développement d'une diatomée planctonique.

Le lac Inférieur d'Estibère.

Malgré sa faible profondeur (5 m), le lac Inférieur d'Estibère présente deux périodes de stratification thermique. Les eaux de surface atteignent des températures supérieures à 16 °C pendant l'été. La température des eaux du fond reste à 6 °C par suite d'une alimentation

par sources froides circulant sous la tourbière en bordure du lac. On peut donc le considérer comme un lac dimictique.

A cette stratification thermique se superpose une stratification chimique. L'alcalinité à 4 m est de 64 % supérieure à celle de surface. 80 % à 90 % des valeurs de la conductivité électrique sont dus aux bicarbonates.

Malgré la proximité d'une tourbière acide, le pH d'été varie entre 7,7 et 8,3 en surface alors que le pH du fond est plus alcalin de 0,5 à 0,7 unités pH. Les concentrations en oxygène dissous correspondent aux valeurs du pH et on constate des sursaturations de 102 % à 127 % au-delà de 2 m de profondeur ainsi qu'une diminution de la quantité de CO_2 libre.

Les teneurs moyennes en nitrates, silice et phosphates sont comparables à celles des sept autres petits lacs

Les 7 autres lacs.

Ces lacs, peu profonds (5 m) et de faible superficie, sont homothermes. La température des lacs les plus bas (L. d'Anglade et Gourg Nère Inf. II) reste le plus souvent supérieure à 15 °C pendant l'été, celle des lacs les plus élevés de la série (Gourguet et L. Supérieur) ne dépassent qu'exceptionnellement cette température.

Leur minéralisation présente de légères différences. Cependant, on note pour tous, au cours de l'été une sont comparables à celles des sept autres petits lacs. augmentation de la conductivité de 50 à 100 % qui traduit une hausse de l'alcalinité, les bicarbonates représentant 80 % à 90 % des sels dissous.

Les valeurs moyennes du pH varient de 7,7 à 8,7 et 7,7 à 8,7 et sont maximales en août. En été, les concentrations maximales en O_2 sont rarement inférieures à 75 % et exceptionnellement supérieures à 110 % des teneurs à la saturation. En hiver, les phénomènes physiques consécutifs à la formation de la glace parviennent à maintenir de bonnes conditions d'oxygénation dans toute la masse d'eau (61 % près du fond au Gourg Nère Inf. II, le 7 mars 1969 sous 150 cm de glace + neige).

Les teneurs en nitrates, silice et phosphates sont faibles et leurs fluctuations au cours de l'été ne permettent pas d'y reconnaître une évolution nette.

DEUXIÈME PARTIE

I. — Des données nouvelles sont apportées sur la systématique des larves, nymphes et imagos de plusieurs espèces de Chironomides.

1° La description de la nymphe de *Thienemannimyia northumbrica* permet de définir le groupe *northumbrica*

caractérisé par la présence de 2 soies LS sur le segment I. La présence d'un crochet nettement plus court que les autres à chaque pseudopode postérieur permet de distinguer sa larve.

2° La larve de *Paramerina divisa* se différencie de celle de *Zavrelimyia melanura* au niveau des crochets des pseudopodes postérieurs.

3° Les larves de *Ablabesmyia longistyla* et *A. monilis* se distinguent l'une de l'autre par la structure de leurs palpes maxillaires.

4° La nouvelle description des imagos ♂ et ♀ de *Psectrocladius barbatipes* permet de faire correspondre cette espèce à la nymphe décrite par THIENEMANN (1939) sous le nom de *Psectrocladius sp. connectens*. Il est créé pour cette espèce le nouveau sous-genre : *Mesopsectrocladius*, intermédiaire entre les sous-genres *Psectrocladius* s. tr. et *Allopsectrocladius*.

5° *Chironomus commutatus*, connu jusqu'à ce jour par la seule formule chromosomique de la larve (KEYL 1960) est décrit à l'état imaginal (♂ et ♀), nymphal et larvaire. Ceci permet d'insérer cette espèce dans la clé de détermination de STRENZKE (1959).

6° La nymphe de *Microtendipes britteni* est décrite et comparée à celle de *Microtendipes pedellus* var. *lividus*.

7° La nymphe de *Pentapetilum nubens* est décrite.

8° La larve de *Tanytarsus bathophilus* est décrite et la nymphe de cette espèce fait l'objet d'une nouvelle description.

9° La nymphe de *Tanytarsus miriforceps* est décrite et sa position taxonomique définie au sein du groupe VIII *norvegicus* (REISS et FITTKAU 1971).

II. — L'étude faunistique et biogéographique a permis d'établir les conclusions suivantes :

1° Ce travail porte à 116 le nombre d'espèces de Chironomides actuellement connues dans les Pyrénées.

2° 77 espèces de Chironomides ont été récoltées essentiellement dans les lacs des zones subalpine et alpine (2 050 m - 2 350 m) dans les Pyrénées. 18 sont nouvelles pour la Faune de France; 14 sont signalées pour la première fois dans la zone 2 de la *Limnofauna Europaea*.

3° Sur les 77 espèces, 54 plus franchement limnophiles, se répartissent ainsi : 10 Tanypodinae, 18 Orthocladinae, 13 Chironomini, 13 Tanytarsini.

4° Du point de vue biogéographique, 10 espèces ont une répartition holarctique. Sur les 45 espèces à répartition paléarctique, 7 paraissent actuellement circonscrites à la région boréo-alpine, 1 à la région alpine; une espèce enfin est cosmopolite. 13 formes sont récoltées

préférentiellement dans les massifs montagneux probablement en raison du caractère sténotherme d'eau froide de leur larve. On remarque, tout comme dans les lacs de la chaîne alpine, l'absence de formes endémiques.

5° 85 % des espèces sont communes aux Alpes et aux Pyrénées. Toutefois, la faune froide caractéristique des lacs arctiques et des lacs alpins de haute altitude n'a pas été retrouvée dans les lacs pyrénéens de même niveau.

6° Au total, le peuplement des lacs pyrénéens échelonnés entre 2 100 et 2 350 m comprend, pour les deux tiers de ses espèces, des formes eurythermes. Il s'apparente beaucoup au peuplement des lacs alpins de moyenne altitude dont il possède en outre la même diversité spécifique.

III. — Le piégeage d'adultes a permis d'obtenir les résultats suivants :

1° Pour les espèces dont la taille de la nymphe est supérieure à 4 mm de long, le % d'exuvies observées dans les pièges par rapport aux imagos est de 68 à 102 %. La densité des émergences est représentative de la densité des larves pour la zone « littori-profonde » du lac de Port-Bielh. Toutefois, la rentabilité des pièges utilisés décroît avec la taille des espèces.

2° La comparaison de deux pièges placés à la même profondeur révèle :

a) deux pièges sont nécessaires pour obtenir 80 % des espèces présentes dans un biotope déterminé;

b) dans la zone littorale non uniforme des lacs, des différences qualitatives et quantitatives importantes apparaissent pour les espèces secondaires (dont la densité représente 2 à 10 % des émergences totales);

c) dans la zone « littori-profonde » du lac de Port-Bielh s'il existe des différences qualitatives pour les espèces rares ($d < 2\%$), on obtient en revanche une bonne représentativité pour les formes dominantes ($d > 10\%$).

3° La température apparaît comme le facteur essentiel dans le déterminisme des émergences. Les lacs demeurent gelés sept mois par an en moyenne. En général, des adultes commencent à émerger dès que la température de l'eau atteint 7 °C (environ 8 à 10 jours après la fusion de la glace). Dans une station donnée, la quasi-totalité des émergences s'effectue en 15 jours pour la plupart des espèces.

4° Les émergences sont d'autant plus précoces que le dégel survient plus tôt.

a) un décalage de 8-15 jours peut apparaître pour une même espèce suivant le régime thermique des lacs où on la rencontre;

b) dans un même lac et pour une espèce donnée un retard de 15 jours peut exister en fonction de la profondeur;

5° Deux modes d'émergence ont été mis en évidence dans le lac de Port-Bielh.

a) dans la zone « littorale » : (0-7 m) : longues périodes d'émergence avec un ou deux pics;

b) dans la zone « littori-profonde » (7-19 m) : courtes périodes d'émergence.

6° Dans leur quasi-totalité les espèces du lac de Port-Bielh sont univoltines. Deux espèces, les plus grandes, *Chironomus commutatus* et *Ch. plumosus*, sont semivoltines.

7° Des variations de la sex-ratio avec la profondeur ont été mises en évidence pour les quatre espèces dominantes de la zone littori-profonde. La sex-ratio est égale à 1 dans la zone de 10 m de profondeur (zone de densité maximale de peuplement). Au-delà le pourcentage de ♀ augmente chez *Zavrelimyia melanura*, *Psectrocladius sordidellus*, *Cricotopus pirifer*, et diminue chez *Chironomus commutatus*.

TROISIÈME PARTIE : COMMUNAUTÉS ET PRODUCTION

IV. — Les communautés.

Une analyse mathématique des prélèvements a permis de mettre en évidence quatre communautés de Chironomides :

1. — Une communauté de la zone « littori-profonde » (7-19 m) du lac de Port-Bielh caractérisée par : *Tanytarsus bathophilus* associé à *Chironomus commutatus* et entre 17-19 m à *Chironomus plumosus*. Cette coexistence est déterminée par un déficit hivernal en O₂ (*Chironomus*) et une faible teneur des sédiments en matière organique (*Tanytarsus*).

2. — Une communauté de la zone « littorale » ($p < 1$ m) des lacs alpins (Alt. > 2 200 m) caractérisée par l'association *Micropectus contracta* - *Heterotrissocladius marcidus* et les espèces compagnes *Paratanytarsus austriacus* - *Microtendipes pedellus* var. *lividus*. Cette zone « littorale » doit son originalité à la nature du sédiment (texture et apports allochtones) : elle entraîne l'abondance des formes prédatrices libres (*Tanytarsus*, *Cryptocladopelma*) et la diminution des formes à fourreaux.

3. — Une communauté de la zone « profonde » ($p > 1$ m) des lacs alpins dont la température ne dépasse jamais 15 °C, caractérisée par l'association de deux espèces boréales : *Cladotanytarsus* cf. *lucundus* - *Psectrocladius barbianus* avec *Tanytarsus bathophilus*

comme espèce compagne. La couche de vase uniforme favorise particulièrement l'installation de formes à fourreaux.

4. — Une communauté de la zone « profonde » des lacs subalpins (Alt. < 2 200 m) caractérisée par l'association *Tanytarsus nemorosus* - *Psectrocladius barbatipes* avec *Limnochironomus pulsus* var. *objectans* comme espèces compagne.

Pendant deux mois, la température de ces lacs excède 15 °C et empêche l'installation d'espèces sténothermes strictes qui peuplent les lacs les plus élevés. Toutefois la température est trop basse pendant les dix autres mois pour permettre l'installation d'un grand nombre d'espèces de plaine.

En résumé, deux communautés, une « littorale » et une « profonde », caractérisent les lacs, leur peuplement en Chironomides est si différent qu'on ne peut les caractériser par une seule association.

Trois points sont apparus au cours de ces recherches :

— L'étude des *Tanytarsus* a mis en évidence le passage progressif entre les communautés depuis le lac Inférieur d'Estibère jusqu'au lac de Port-Bielh.

— La coexistence dans la zone profonde du lac de Port-Bielh de larves de *Chironomus* et de larves de *Tanytarsus* pose le problème de la position des lacs pyrénéens de haute altitude dans le système trophique de THIENEMANN basé sur l'écologie des larves de Chironomides. Les larves de *Tanytarsus* ne sont pas gênées par le déficit en O₂ lors de la stagnation hivernale, celles de *Chironomus*, et notamment celles de *Ch. plumosus* s'accommodent des conditions oligotrophes offertes par ce lac. Le lac de Port-Bielh, et son association inaccoutumée *Chironomus plumosus* - *Tanytarsus bathophilus* montre que les lacs de montagne doivent être définis en fonction de nouvelles bases.

— La nature des sédiments paraît jouer un rôle particulier. Dans les lacs étudiés le rapport C/N varie entre 7 et 15 : il est en moyenne proche de 10; les sédiments de ces lacs sont relativement riches en matières organiques (20 à 50 %) si on les compare aux lacs définis comme oligotrophes (STANGENBERG 1949; RYBAK 1968).

Nous sommes en présence de lacs oligotrophes à production pélagique faible mais dont les sédiments sont semblables à ceux de certains lacs eutrophes ou dys-trophes.

Les conditions de milieu (t° et O₂) sont à l'origine de cette anomalie : les basses températures et le déficit en oxygène pendant les six à sept mois de gel ralentissent la minéralisation de la matière organique et peuvent expliquer la forte teneur en carbone organique du sédiment et le rapport C/N élevé.

Cela permet de mieux comprendre la position particulière de ces lacs en regard du schéma tenant compte du degré de trophie, de même que l'association *Chironomus* - *Tanytarsus* au fond du lac de Port-Bielh.

V. — Production.

57 espèces dont 32 Chironomides sont recensées dans le macrobenthos du lac de Port-Bielh. L'essentiel du peuplement est constitué par 3 Chironomides, *Chironomus commutatus*, *Zavrelimyia melanura*, *Psectrocladius sordidellus*; 2 Oligochètes, *Tubifex tubifex*, *Lumbriculus variegatus*; 1 Pisidium, *P. nitidum* et 1 Mégaloptère, *Sialis lutaria*.

Dans la zone « littori-profonde » la densité moyenne des organismes benthiques diminue progressivement avec la profondeur : elle est de 5 000 ind./m² à 7-8 m et de 1 400 ind./m² à 16-18 m.

Les chironomides dominent entre 7 et 14 m où ils représentent 60 à 83 % du peuplement. Leur densité diminue progressivement jusqu'à —16 m (425 ind./m²) puis s'accroît dans les derniers mètres (900 ind./m²).

Les trois espèces : *Ps. sordidellus*, *Z. melanura*, *Ch. commutatus* constituent 77 % de la densité larvaire moyenne et plus de 84 % de la biomasse avant les émergences.

Ps. sordidellus et *Z. melanura* effectuent leur cycle en un an, *Ch. commutatus* a un cycle de développement qui dure deux ans.

Le développement des populations de ces trois espèces se caractérise par :

- une période de vol de courte durée, la quasi-totalité des émergences s'effectuant en 10 ou 15 jours;
- une croissance rapide des larves pendant l'automne, au moment de l'isothermie (10 - 13 °C);
- un fort ralentissement, voire un arrêt de la croissance au cours des sept mois d'hiver en relation avec une basse température (3,5 °C) et un déficit important en O₂ dissous au contact de la vase;

On observe un décalage de un mois entre le pic de phytoplancton et la période de croissance larvaire.

Ps. sordidellus et *Z. melanura*, pour lesquelles des calculs de production ont été réalisés, représentent 44 % de la biomasse des larves de Chironomides de la zone « littori-profonde » avant les émergences.

Leur production annuelle est estimée à 6,85 g PF/m² (5,05 g pour *Psectrocladius* et 1,8 g pour *Zavrelimyia*) soit 10,3 kg PS/ha.

La biomasse maximale dans les lacs de montagne et pour la majorité des espèces univoltines, est atteinte au début de l'hiver.

La valeur du rapport P/B max. atteint 1,65 pour *Ps. sordidellus* et 1,50 pour *Z. melanura*.

C. SOUCHON. — Caractérisation et étude éco-physiologique comparée d'écotypes stationnels de *Cardamine pratensis* L. Thèse soutenue le 23 mars 1972, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay (1).

Lorsqu'une espèce assez largement répandue occupe des habitats variés, elle peut se différencier en un certain nombre de formes écologiques nommées écotypes. Les écotypes apparaissent ainsi comme « des groupes de biotypes étroitement apparentés qui se sont différenciés de la population originelle sous l'action sélective des facteurs écologiques prédominants de l'habitat ». Les études antérieures concernant les écotypes ont parfois été limitées à l'établissement de leur existence et à leur distinction taxonomique au sein des espèces linéennes. Pourtant, à propos des écotypes, se pose nettement le problème de l'adaptation aux conditions sélectives du milieu. En recherchant les propriétés éco-physiologiques pouvant être liées aux facteurs édaphiques et climatiques, on peut tenter d'expliquer la localisation de telles formes et apporter de cette façon quelque lumière au problème biologique général de l'adaptation.

Les travaux effectués dans ce sens et se situant au niveau microclimatique sont fort peu nombreux. C'est pourquoi dans ce travail on a choisi délibérément — malgré l'étroite parenté taxonomique que cela pouvait entraîner — de s'adresser à des formes issues de stations géographiquement voisines, mais différentes au niveau des conditions stationnelles surtout microclimatiques. *A priori* de telles formes pouvaient donc correspondre à des écotypes stationnels.

L'espèce retenue comme matériel expérimental est la Cardamine des prés (*Cardamine pratensis* L., Crucifère), commune dans le bassin Parisien où elle y existe dans des stations assez diverses floristiquement et écologiquement.

La localisation stationnelle et phytosociologique des 3 formes que nous avons choisies est la suivante :

1. prairie mésophile fauchée, comprenant des zones recevant l'ombrage passager d'arbres en bordure Sud; le groupement de cette prairie peut être considéré comme une forme appauvrie de l'association à Avoine élevée (*Arrhenatheretum elatioris*);

2. prairie humide, appartenant à un groupement plus hygrophile avec de nombreuses espèces des *Moli-*

nietalia; l'ombrage par les arbres et surtout par les herbes voisines est plus important que dans le premier cas;

3. forêt humide, en partie Aulnaie, en partie faciès humide d'une Chênaie-Charmaie; l'humidité du sol est forte et l'ombrage très accentué dès la feuillaison.

La première partie de ce travail est constituée par la description détaillée de ces stations sur le plan phytosociologique et surtout mésologique. Ce dernier point constitue un préalable indispensable pour guider le choix des caractères éco-physiologiques à envisager dans l'étude comparée.

Le but de la seconde partie est de donner un essai de « définition » des formes à partir des divers critères non physiologiques les plus accessibles. Ainsi :

1. Le caryotype de la forme de forêt humide diffère ($2n = 48$) de celui des autres formes ($2n = 40$).

2. Les dates de floraison sont plus précoces pour les formes les plus hygrophiles tant *in situ* qu'en culture au jardin; en outre la forme de prairie humide est la seule à ne pas avoir un besoin absolu de froid vernalisant.

3) Le pouvoir de bourgeonnement épiphyllé à partir de méristèmes préformés est plus élevé pour cette forme de prairie humide.

4. Une distinction morphologique des formes n'est pas possible à partir des caractères de l'appareil végétatif. C'est pourquoi une tentative a été faite en utilisant des mensurations de pièces florales et en traitant les données par les techniques biométriques utilisables en taxonomie numérique (analyse de variance, analyse de dispersion, analyse factorielle des correspondances). On a montré que :

a) la distinction des formes est possible à partir de rapports de grandeur, ou mieux de fonctions discriminantes que nous avons calculées;

b) l'application de divers traitements culturels, introduisant une variabilité supplémentaire, n'empêche pas cette distinction;

c) la parenté morphologique florale entre formes est bien matérialisée par le calcul de la distance de Mahalanobis ou par la position des nuages de points en analyse factorielle des correspondances; on est conduit à rapprocher, pour cet aspect, les formes de prairie mésophile et de forêt humide.

La troisième partie concerne l'étude éco-physiologique comparée de ces formes orientée essentiellement — à

(1) Archives originales du C.N.R.S., n° A.O. 6403.

partir de l'analyse mésologique — sur l'étude des réactions aux conditions de sécheresse et de l'action des divers facteurs sur la photosynthèse apparente.

1°) Pour ce qui a trait à la résistance à la sécheresse on note que :

a) l'aptitude des pieds à supporter une forte déshydratation est plus élevée chez la forme de prairie mésophile;

b) la forme de la relation entre la teneur relative en eau et le potentiel hydrique des feuilles indique une meilleure adaptation à la sécheresse pour la forme de prairie mésophile;

c) lorsque l'état hydrique du sol apporte une contrainte croissante pour assèchement, la réduction de transpiration intervient pour un potentiel plus élevé pour la forme de prairie mésophile que pour les deux autres.

2°) L'activité photosynthétique en fonction des divers facteurs révèle aussi des différences de comportement entre formes :

a) l'analyse des courbes d'activité photosynthétique en fonction de l'éclairement pour des pieds cultivés d'une part en pleine lumière, d'autre part sous ombrage, indique une tendance à l'héliophilie chez la forme de prairie mésophile, à une sciaphilie peu marquée pour la forme de prairie humide et à une nette sciaphilie pour la forme de forêt humide;

b) les relations entre photosynthèse et transpiration, pour les déficits hydriques assez faibles, montrent que la photosynthèse est plus dépendante de l'état hydrique pour la forme de prairie mésophile que pour celle de forêt humide;

c) en considérant l'action de la température sur la photosynthèse et en calculant les énergies d'action on met en évidence une grande sensibilité à la température chez la forme de forêt humide.

L'ensemble de ces caractères montre une certaine adaptation de chaque forme à sa propre station.

Dans la quatrième partie sont présentés les résultats d'essais destinés à vérifier l'efficacité globale de ces mécanismes établis expérimentalement.

1°) Des essais de culture au jardin organisés en plans factoriels comprenant 3 types de sols (a), 2 niveaux d'éclairement et 3 niveaux d'humidité édaphique (b), compétition ou non avec du Ray-Grass (c) ont permis de dégager les principales conclusions suivantes :

— en (a), l'influence du sol sur la croissance des 3 formes est faible à condition que le niveau d'humidité édaphique reste convenable.

— en (b),

- la mortalité n'est pas significativement différente entre les formes,
- la productivité de la forme de prairie mésophile est la moins atteinte dans les conditions culturales les plus sèches,
- les caractères morphologiques et de répartition de la matière sèche indiquent une meilleure possibilité d'adaptation à l'ombrage de la forme de forêt humide.

— en (c), la forme de forêt humide apparaît comme la moins résistante aux conditions de compétition.

2°) Des implantations réciproques dans les stations n'ont pas montré de grandes différences de comportement entre les formes : on est conduit à penser que les propriétés différentes entre les formes ne se manifestent que lors de circonstances climatiques exceptionnelles. Par contre un essai d'implantation dans une pelouse sèche sans ombrage, zone à conditions plus difficiles et dont la Cardamine est absente montre après une seule année de végétation, une mortalité significativement plus faible de la forme de prairie mésophile.

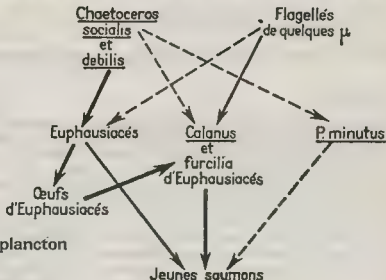
Ce type d'essais n'aurait probablement pas permis à lui seul d'établir la réalité d'une adaptation stationnelle; cependant il permet de la confirmer, à condition d'en confronter les résultats avec les données écophysiologiques expérimentales.

Le comportement éco-physiologique de ces formes autorise à les considérer comme de véritables écotypes stationnels. On peut retenir en outre que la distinction des formes est malgré tout possible en dehors des seuls critères physiologiques ce qui montre que la variation, bien que faible, s'exprime à tous les niveaux (morphologique, caryotypique, phénologique...). Certaines propriétés éco-physiologiques de ces écotypes peuvent être nettement mises en relation avec les conditions mésologiques des stations et être considérées comme des mécanismes adaptatifs qui seraient apparus par sélection à l'intérieur de populations de ce taxon qui a dans son ensemble une assez grande souplesse écologique. L'efficacité de tels mécanismes ne se manifeste probablement que sur des périodes longues et notamment lorsque des conditions extrêmes, même passagères, s'exercent dans les stations. On peut penser que l'allogamie, qui est de règle dans l'espèce, favorise l'accroissement du potentiel génétique des populations mais qu'une fois la sélection accomplit la colonisation d'un type stationnel est grandement favorisée par les possibilités de multiplication végétative.

Ecologie du plancton marin

Collection
d'Ecologie

P. BOUGIS



Volume 1. Le phytoplancton

204 pages, 98 F.

Volume 2. Le zooplancton

208 pages, 98 F.

DANS LA MÊME COLLECTION

• **Phytosociologie**, par M. Guinochet. 228 pages, 120 F • **Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire**, par G. Long : 1. Principes généraux et méthodes. Recueil, analyse, traitement et expression cartographique de l'information. 256 pages, 110 F. 2. Applications du diagnostic phyto-écologique (sous presse). • **Dynamique des populations**, par R. Dajoz (sous presse).

BON DE COMMANDE

Nom, prénom

(en capitales)

Adresse.

Code postal

Spécialité.

Date. Signature

Je désire recevoir l'ouvrage de P. BOUGIS :

Ecologie du plancton marin.

☐ Volume 1 : 98 F

☐ Volume 2 : 98 F

J'acquiesce le montant de ma commande (+ 3 F de participation aux frais de port) par

☐ chèque bancaire

☐ mandat-lettre

☐ C.C.P. (joindre les 3 volets).

Remettez ce bon à votre librairie ou adressez-le à

masson et cie

120, bd Saint-Germain 75280 Paris Cedex 06



Influences biologiques et psychologiques de la pollution atmosphérique

A propos du cas particulier des raffineries de pétrole

Travail de la Division de Microbiologie, du Centre de Recherche de Santé des Armées (R. FONTANGES), et du Service de Toxicologie clinique de l'Hôpital Edouard-Herriot (L. ROCHE, V. VINCENT).

D. SETTELEN, L. PLOTON, P. ISOARD, E. ABRIGEON.

Préface de A. JARROT, Ministre de la Qualité de la Vie.

Volume n° 79 de la Collection de médecine légale et de toxicologie médicale, 312 pages, 122 F.

AU SOMMAIRE :

I. Raffinage et raffinerie. — Généralités. — Formation du pétrole. — Histoire du pétrole. — Le raffinage. — Implantation et fonctionnement du raffinage moderne. — **II. Nuisances et raffinerie.** — Introduction. — Les odeurs. — Le bruit. — La lueur de la torche haute. — Pollution de l'eau. — Pollution atmosphérique dans une raffinerie. — En conclusion. — **III. Raffinerie et protection de l'environnement.** — Les odeurs. — Le bruit. — La lueur de la torche haute. — L'eau. — Pollution atmosphérique. — **IV. Sources et devenir des composés soufrés atmosphériques.** — Introduction. — Sources directes d'anhydride sulfureux. — Propriétés des oxydes de soufre. — Réactions en phase liquide. — Les réactions en phase gazeuse. — Réactions hétérogènes par interaction gaz-solide. — Interactions physiques de SO₂ avec les aérosols atmosphériques. — Réaction du SO₂ avec le sol et la végétation. — Cas particulier de l'oxydation de SO₂ dans un panache de fumée. — Le soufre dans l'environnement atmosphérique. — **V. Influence des phénomènes météorologiques sur la pollution atmosphérique.** — La troposphère. — Vents et turbulences. — La stabilité thermique de l'atmosphère. — L'eau atmosphérique. — Phénomènes météorologiques locaux. — **VI. Moyens et étude de la dispersion des polluants atmosphériques.** — Principales données régissant l'émission de polluants par une cheminée. — Techniques d'étude de la dispersion des polluants atmosphériques. — **VII. Etudes consacrées à l'agglomération lyonnaise.** — Les rapports du bureau d'hygiène. — Travaux effectués par la division de microbiologie du Centre de Recherche du Service de Santé des Armées. — Les solutions proposées au problème de la pollution atmosphérique. — **VIII. Influence des conditions d'environnement sur les constantes hématologiques humaines.** — Introduction. — Matériels et méthodes. — Résultats et études informatiques. — Discussion. — Conclusion. — **IX. Essai d'approche du vécu psychologique de la pollution, à propos du cas particulier des raffineries.** — Introduction. — Les préoccupations individuelles. — La peur collective. — Discussion. — **Annexes :** Pollution atmosphérique et santé de l'homme. — Moyens d'études théoriques de la dispersion atmosphérique. — La pollution vue par le législateur. — Bibliographie. — Index alphabétique.

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR :

Physicochimie et physiopathologie des polluants atmosphériques, P. Chovin et A. Roussel, 320 p., 125 F

BON DE COMMANDE

Nom, prénom
(en capitales)

Adresse

.....

Spécialité

Date Signature

Je désire recevoir exemplaire(s) de l'ouvrage :
Influences biologiques de la pollution atmosphérique
(D. SETTELEN), prix unitaire : 122 F.

J'acquies le montant de ma commande, soit F
(+ 3 F de participation aux frais de port) par :

☐ chèque bancaire joint ☐ mandat-lettre
☐ C.C.P. (joindre les 3 volets).

Remettez ce bon à votre librairie ou adressez-le à :

masson et cie

120, bd Saint-Germain - 75280 Paris Cedex 06



ANALYSES D'OUVRAGES

B. W. FERRY, M. S. BADDELEY, D. L. HAWKSWORTH. — **Air pollution and lichens.** — Londres, Université, 1973 — 22 cm., 398 p., cartes et graphiques. — 95 F.

Cet ouvrage se propose de faire le point des connaissances actuelles sur les rapports existants entre la pollution atmosphérique et la végétation lichénique.

En plus des trois auteurs principaux ont collaboré à cette étude de nombreux chercheurs anglais, mais aussi belges, canadiens et américains.

La sensibilité des lichens vis-à-vis de leur environnement est maintenant un phénomène connu et en tout cas très étudié.

Ces végétaux sont en effet très sensibles à la pollution acide de l'air et peuvent servir à ce titre d'indicateurs. L'environnement des complexes urbains ou industriels est révélateur à cet égard puisqu'on y constate un appauvrissement de la flore lichénique et le maintien d'espèces toxitolérantes.

Le livre que nous présentons passe donc en revue divers aspects de cette question et nous pensons qu'il est utile d'en préciser la teneur.

Un premier chapitre étudie les sources de production de l'anhydride sulfureux et sa dispersion dans l'atmosphère.

Par oxydation, ce gaz se transforme en acide sulfurique et constitue ainsi le principal agent de pollution acide.

Dans un chapitre très intéressant, HAWKSWORTH explique et discute les différents procédés de cartographie utilisés. Il rappelle à cette occasion l'échelle qualitative pour l'estimation de la pollution atmosphérique utilisant les lichens épiphytes qu'il a établi avec son collègue ROSE.

Puis sont passées successivement en revue quelques applications pratiques de ces méthodes relatives au sud-est de l'Angleterre, à la proximité d'une raffinerie du Hampshire et la flore lichénique des zones urbaines.

L'hypothèse de la sécheresse ou « Drought hypothesis » est ensuite présentée pour être rejetée, suivie de

quelques considérations sur les autres polluants et leurs effets sur les lichens et les plantes vasculaires.

Enfin, les derniers chapitres étudient les rapports étroits qui existent entre la pollution et la physiologie des lichens.

Précédant la conclusion précisant les travaux qui restent à faire, une série de cartes montre de façon extrêmement claire les modifications intervenues dans la répartition géographique de certaines espèces.

Ce livre résume donc l'essentiel des connaissances que l'on possède sur ce sujet. A cet égard, il arrive à point pour démontrer que la méthode de cartographie lichénique est plus précise, plus rapide et surtout plus économique que certaines techniques physico-chimiques pour évaluer la pollution atmosphérique.

Enfin comment ne pas conclure en rendant hommage à nos collègues d'outre Manche pour les travaux déjà complets qu'ils ont effectués dans ce domaine, alors que chez nous, seulement une partie du nord-ouest de la France a été prospectée.

Michel LEROND

Philippe DREUX, 1974. — **Précis d'Ecologie.** Collection S.U.P., Presses Universitaires de France, Paris, p. 1-231, 82 figs.

L'initiation à l'Ecologie est de plus en plus importante. Voici un livre concis et bien rédigé, de nature à rendre service à toutes les personnes qui sont intéressées par cette science tentaculaire qu'est l'écologie. On le lira avec le plus grand plaisir. L'iconographie est également fort bien choisie. Le sommaire de ce livre est le suivant :

<i>Introduction</i>	5
<i>Chapitre premier. — Les facteurs abiotiques</i>	13
1. Généralités	13
2. Facteurs climatiques	16
A) La température	18
B) L'humidité	40
C) Interactions de la température et de l'humidité	50

D) La lumière	58
E) Les facteurs climatiques secondaires ..	67
3. Facteurs édaphiques	69
A) La structure du sol	70
B) La composition du sol	73
4. Facteurs hydrographiques	76
Chapitre II. — <i>Les facteurs intraspécifiques</i>	86
1. Facteurs démographiques	87
A) L'effectif	95
B) Le sex-ratio	99
C) La durée de vie	101
D) La fécondité	102
E) La démographie	103
2. Facteurs éthologiques	110
A) Facteurs liés au sexe	110
B) Effet de groupe	111
C) Compétition	113
Chapitre III. — <i>Les facteurs biotopes interspécifiques</i>	116
1. Modification du milieu par les êtres vivants ..	117
2. Interactions entre deux espèces	121
A) La compétition : notion de niche écologique	123
B) Les interactions positives	128
C) L'exploitation : parasitisme et prédation ..	133
3. Nutrition des êtres vivants	136
4. Rapport entre une espèce et sa nourriture ..	140
A) Observations dans la nature	140
B) Analyse théorique et expérimentale	145
Chapitre IV. — <i>La Synécologie</i>	151
1. Exemple d'écosystème : un lac de région tempérée ..	153
2. Etude des écosystèmes	158
3. Echanges d'énergie dans les écosystèmes	164
4. Productivité des écosystèmes	174
Chapitre V. — <i>Les principaux milieux de notre globe</i>	185
1. Les grandes régions biogéographiques ..	186
2. Les formations terrestres	190
A) Les formations ouvertes	190
B) Les formations fermées ou forêts	194
3. Les formations marines	199
A) Les communautés néritiques	203
B) Les communautés océaniques	206
4. Les formations d'eau douce	209
A) Les eaux dormantes	210
B) Les eaux courantes	210

<i>Conclusion</i>	213
<i>Bibliographie</i>	221
<i>Index analytique</i>	223

C. DELAMARE DEBOUTEVILLE

Z. SESTÁK et J. CATSKÝ, 1974. — *Photosynthesis Bibliography*, volume I, 1966-1970. Dr. W. Junk, N. V., publishers, VIII + 304 pp. (Dutch Guilders 100).

5620 références sont fournies. Ce travail de compilation critique rendra les plus grands services à tous les écologistes passionnés par les problèmes de la photosynthèse. Malheureusement seules les références bibliographiques sont données, sans aucune analyse critique, ce qui diminue peut-être un peu l'intérêt de cet ouvrage qui constitue une inestimable source de renseignements pour un Laboratoire axé sur ces problèmes.

C. DELAMARE DEBOUTEVILLE.

Gérard BELLAN et Jean-Marie PERES, 1974. — *La Pollution des Mers*. Que sais-je, n° 1555, P.U.F., Paris, p. 1-124, 4 figs.

Il s'agit d'un très bon livre dont le sommaire est le suivant :

Chapitre premier — <i>Origines de la pollution</i>	9
<i>Introduction</i>	5

I. Les polluants, 9. — II. Modes d'arrivées en mer des polluants, 21. — III. Recherches en mer des polluants, 25. — IV. Comportement et destinée des polluants en mer, 33.

Chapitre II. — <i>Action des polluants</i>	46
I. Action des polluants sur les organismes marins, 46. — II. Action des polluants sur les peuplements marins, 64. — III. Pollution et ressources alimentaires des milieux océaniques, 85. — IV. Pollution et préservation du milieu physique, 101.	

Chapitre III. — <i>Incidences de la pollution</i>	107
Problèmes économiques, sociaux et politiques découlant de la pollution des milieux marins, 107.	

Chapitre IV. — <i>Lutte contre les pollutions</i>	110
I. Procédés de lutte contre la pollution, 110. — II. Les lois et règlements 116, — III. La pollution marine	

et sa prévention; problème international, 121.

Bibliographie sommaire 125

Quelques difficultés peut-être (p. 35) pour un lecteur non averti à savoir ce que sont le thermocline et l'upwelling. Il faudrait aussi (p. 36) dire que les Crustacés ont une vocation toute particulière à fixer le cuivre dans leur sang !

Au total, un livre très riche et bien rédigé. La figure 2 est particulièrement pédagogique.

C. DELAMARE DEBOUTTEVILLE.

ANONYME. — *Recherches sur les ressources naturelles. XII. Ressources naturelles de l'Asie tropicale humide*. Unesco, Paris, 490 p., 1974.

En un volume de 490 pages, l'Unesco vient de publier une revue de nos principales connaissances sur l'Asie tropicale humide, du point de vue recherches sur le milieu naturel et ses ressources.

Sur 19 chapitres, 5 sont consacrés à la géosphère, 12 à la biosphère et 2 à l'homme. Tour à tour sont exposés, les données connues sur la cartographie, le climat, la météorologie, les ressources minières, les problèmes de séismes et d'eau, les sols, les végétations et faunes terrestres et aquatiques y compris marines. Un chapitre spécial traite du problème du riz si important dans cette région du globe comme l'est également celui de l'occupation par l'homme des deltas. Soumise à la mousson, la région comme l'homme s'est adaptée.

Les articles, largement documentés, ont été rédigés par des spécialistes qui ont eu du mal parfois à délimiter l'aire prospectée. Il n'en reste pas moins que ce gros volume rendra un précieux service à tous ceux désirant se documenter sur cette région très attachante et où l'homme, confronté à une nature très variée et souvent exubérante, joue un rôle essentiel par le nombre comme par l'histoire.

P. A. KRENKEL et F. L. PARKER, 1969. — *Biological Aspects of thermal pollution*, 407 p., \$ 7.95.

F. L. PARKER et P. A. KRENKEL, 1969. — *Engineering Aspects of thermal pollution*, 351 p., \$ 7.95.
Vanderbilt University Press, Nashville, Tennessee.

En juin et août 1968, la Federal Water Pollution Control Administration et l'Université Vanderbilt orga-

nisèrent deux colloques sur la pollution thermique des milieux aquatiques. Il s'agissait de préciser l'état des connaissances sur la question et de déterminer l'urgence des recherches à entreprendre.

Ces deux volumes regroupent les exposés présentés et les discussions s'y rapportant.

Les aspects biologiques sont traités en 12 articles et allocations. P. A. KRENKEL et F. L. PARKER présentent d'abord les problèmes techniques posés par les rejets d'eau chaude et les rôles distincts des biologistes, ingénieurs et administrateurs dans la recherche des solutions. Sont ensuite abordés : le zooplancton marin (7 p.), le benthos des mers et estuaires (53 p.), les poissons d'eau douce (21 p.), les algues d'eau douce (38 p.), le benthos d'eau douce (30 p.), les poissons marins (65 p.), les poissons anadromes (60 p.), et les poissons d'eau douce de Grande-Bretagne (28 p.). Les recherches à développer font l'objet d'un article final (9 p.).

Les aspects techniques sont également traités en 12 articles et allocations avec, en premier lieu, une étude approfondie des changements écologiques dus à l'augmentation de température de l'eau (57 p.). Les autres articles concernent : les normes légales de qualité de l'eau pour la température (38 p.), le refroidissement des centrales thermiques par les rivières (34 p.), la diffusion des eaux issues de centrales thermiques (33 p.), l'utilisation de modèles hydrauliques (48 p.), les écrans orienteurs de poissons (18 p.), les tours de refroidissement (33 p.), les aspects économiques des rejets d'eaux chaudes (31 p.). Un résumé (16 p.) et une revue des recherches à développer (12 p.) terminent le volume.

Le principal intérêt de ces ouvrages réside dans la variété des points de vue exposés. Chaque article est en effet suivi d'une analyse distincte (parfois contradictoire) faite par un autre auteur puis, d'une discussion générale informelle. Au total, sur 46 auteurs, 3 sont anglais, 1 français, les autres américains.

Les pollutions thermiques en milieu aquatique — et la recherche de solutions —, prennent un développement soudain. En France, plusieurs études sont en cours ou en projet. Les volumes édités par Krenkel et Parker apportent donc une information de base sur un sujet d'actualité. Toutefois, ce domaine de recherche évolue rapidement et, sur des points fondamentaux, le lecteur devra mettre à jour cette information. Ainsi les progrès réalisés en télé-détection ont-ils conduit à un renouvellement méthodologique insoupçonné en 1968.

L'esprit interdisciplinaire de ces colloques leur conserve néanmoins une valeur exemplaire.

H. DÉCAMPS.

KONRAD LORENZ. — **Les huit péchés capitaux de notre civilisation.** Trad. de l'allemand par E. de Mindel. — Paris, Flammarion, 1973, 20 cm, 171 p., 20 F.

Ce nouveau livre du Professeur KONRAD LORENZ n'est pas à proprement parler un manuel d'écologie si l'on s'en tient au sens strictement scientifique du terme. Si par contre on admet que l'écologie, plus qu'une science, est devenue une idéologie et qu'on accorde à ce mot le sens de contestation du milieu dans lequel nous vivons, voire davantage, alors le livre de LORENZ prend toute sa dimension écologique.

C'est un nouveau cri d'alarme que lance le grand éthologiste, et dès les premières lignes de son ouvrage il nous place en face du problème : « l'humanité contemporaine est en péril. Elle court de nombreux dangers, que le naturaliste et le biologiste en premier lieu sont seuls à apercevoir, alors qu'ils échappent au regard de la plupart des hommes ».

Après une introduction expliquant ce qu'est l'éthologie, en un texte accessible à un large public, LORENZ passe en revue huit « péchés capitaux » :

1 — Le surpeuplement de la terre d'où découle l'agressivité.

2 — La dévastation de la nature sur laquelle d'autres auteurs se sont souvent attardés.

3 — La course contre soi-même, course en spirale qui nous entraîne de plus en plus vite et de plus en plus loin des valeurs fondamentales.

4 — L'aplanissement des contrastes entre plaisir et déplaisir qui atténue ceux-ci en une oscillation imperceptible engendrant l'ennui.

5 — La dégradation génétique de l'humanité résultant de la quasi disparition des facteurs de sélection.

6 — Les conflits entre générations qui ont pris une telle ampleur que celles-ci en viennent à s'affronter de façon haineuse, rompant ainsi une foule de traditions culturelles.

7 — La normalisation des individus, qui par ses effets dépersonnalisants, les rassemble en des groupes culturels de moins en moins nombreux plus maléables par les mass-media.

8 — L'armement nucléaire enfin que LORENZ ne fait qu'ébaucher. Remarquons que l'auteur ne fait aucune allusion à l'utilisation pacifique de l'atome.

Plus que de son milieu, c'est donc de l'homme lui-même que nous entretient LORENZ, un homme malade de l'angoisse qui le ronge et l'enferme dans un labyrinthe dont il ne perçoit plus l'issue. Plus encore qu'angoissée

par des problèmes qu'elle ne domine plus, notre société est malade jusque dans ses gènes et LORENZ nous donne le grand frisson en laissant à penser que l'humanité pourrait avoir commencé une évolution régressive.

C'est enfin un appel aux scientifiques que le livre du célèbre biologiste autrichien : Il est donc du devoir du savant de tirer la sonnette d'alarme, au lieu de se borner, selon son habitude, à se consacrer à l'investigation de phénomènes nouvellement découverts. Il n'est plus temps pour le biologiste moderne de « singer la physique ».

KONRAD LORENZ a interrompu ses recherches un instant pour réfléchir sur l'avenir, on ne peut que convier chacun à l'imiter en lisant son livre.

M. LEROND.

C. VANDEN BERGHEM. — **Initiation à l'étude de la végétation.** — Bruxelles, les Naturalistes Belges, 1973, 2^e édition. — 24 cm, 236 p., ill. en noir. — 300 F. belges.

Cet ouvrage est en fait la réédition de celui déjà publié en 1966, augmenté et complètement mis à jour dans le texte.

Dans une intention didactique, C. VANDEN BERGHEM dissocie les quatre modalités de l'étude de la végétation et envisage successivement la description du tapis végétal, les rapports entre la végétation et les différents facteurs du milieu, le dynamisme de la végétation et enfin la distribution géographique des groupements végétaux.

Illustré d'une centaine de figures, photographies ou schémas, le texte est simple et d'une présentation typographique qui en facilite l'assimilation. Chaque terme technique ou scientifique est expliqué dès son premier emploi facilitant ainsi une compréhension et une lecture rapides.

Ce manuel d'écologie végétale est aussi un précieux répertoire de méthodologie phytosociologique pour le débutant dans cette branche de la botanique. Il s'adresse ainsi aux étudiants en botanique, écologistes, géographes et à tous les naturalistes, amateurs ou professionnels.

Un index alphabétique facilite encore son emploi et une bibliographie sommaire ouvre la voie à un approfondissement de cette étude.

On peut se procurer cet ouvrage en Belgique à : S.P.R.L. Univers, Hoenderstraat 24, 9200 Wetteren.

Michel LEROND.

A. R. PRÉVOT, 1970. — **Humus, Biogénèse, Biochimie, Biologie**, Saint-Mandé, Editions de la Tourelle, 5, rue Guynemer, 94, Saint-Mandé, 342 pages.

Sous la signature d'un éminent spécialiste des processus d'humification qui a étudié les anaérobies de nombreux sols d'Europe, d'Afrique, d'Asie et d'Amérique, l'écologiste est assuré de trouver les réponses aux questions qu'il se pose sur l'extraordinaire complexité du cycle de l'humification, responsable du maintien de la vie sur les continents de notre planète.

La première partie de l'ouvrage est consacrée aux constituants naturels qui entrent dans le cycle de l'humification : les celluloses, les lignines, les pectines, les algines et les chitines. Chacun de ces groupes est attaqué dans le sol par de multiples agents biologiques spécialisés, ce sont les bactéries, les champignons et le cortège des innombrables invertébrés.

Une importante partie du livre concerne ensuite l'origine double de l'azote entrant dans le cycle de l'humification. L'azote atmosphérique qui représente la source directe, et les protéines végétales et animales, ainsi que leurs dérivés, qui aboutissent à l'ammonification. Il est aussi fait référence aux substances organiques naturelles azotées autres que les protéines : kératine, chitines, chlorophylles, alcaloïdes, etc.

Tout ce qui est organique est dégradé et chaque produit libéré va entrer dans le cycle de l'humification. Avant d'exposer ce que l'on sait de ces processus synthésiques, l'auteur rappelle que leur diversité se retrouve dans la pluralité des sols (rendzines, podzols, gley, chernozems, léc, lehm, etc.).

L'humus est ensuite défini comme la matière organique évoluée, stabilisée, donc non vivante du sol. Rejoignant les conceptions des Pédologues, l'auteur distingue deux grands groupes d'humus suivant qu'ils sont de formation aérobie ou anaérobie. Les premiers comprennent quatre types principaux : mull calcique, mull forestier, moder et mor, les seconds saturés d'eau où la décomposition est très lente se répartissent en trois types principaux : tourbe calcique, tourbe acide, Annmor.

A cet aperçu pédologique fait suite une revue des techniques d'étude des humus par des méthodes classiques et d'autres plus récentes (spectrophotométrie, spectrométrie de masse, rayons X, radioisotopes, résonance magnétique et paramagnétique, etc.).

Les processus naturels de l'humification font l'objet d'un important chapitre dans lequel l'auteur analyse successivement l'humification bactérienne, puis l'humifi-

cation fongique. La synthèse abiologique des substances humiques étant traitée dans un chapitre spécial.

A la question si souvent posée « qu'est-ce qu'un acide humique ? », l'auteur montre d'abord l'arbitraire des concepts conventionnellement appelés acides humiques, et donne ensuite une analyse détaillée de sa réponse qui lui permet d'admettre la subdivision en acides fulviques et acides humiques, les premiers ne seraient que les précurseurs fugaces des seconds et leurs structures seraient plus simples.

Les humines, corps intermédiaires qui précèdent la formation des acides humiques ont fait l'objet d'une mise au point sur la base des travaux de Ziechmann et Meyer en 1960.

Les chapitres suivants s'intéressent logiquement au devenir des humus, à leur évolution par action microbienne, à leur utilisation par les plantes et les micro-organismes et aussi à leur activité sur la physiologie des organismes qui les utilisent.

L'auteur termine son ouvrage par deux chapitres qu'il consacre à un important problème actuel : l'humification artificielle. Il est incontestable que les connaissances que nous possédons sur le processus d'humification naturelle amèneront d'énormes progrès dans l'industrie du compost, soit en accélérant la vitesse de la transformation d'un substrat organique en humus, soit en améliorant la qualité de celui-ci, soit aussi en réorientant la pédogenèse d'un sol déficient. Cette dernière partie ne manquera pas d'intéresser ceux qui désirent revenir à des pratiques culturales traditionnelles dans lesquelles l'engrais chimique est proscrit. Quand on saura tout de la biologie de l'humification, l'homme pourra porter la fabrication de l'humus sur un plan industriel, ainsi aura-t-il la possibilité non seulement de rajeunir les sols qu'il épuise, mais aussi de restaurer les sols usés et les immenses étendues arides actuellement incultivables. Les produits des « cultures biologiques » seront enfin accessibles au plus grand nombre.

G. VANNIER.

Colloque des sociétés française et belge de zoologie sur les « concepts fondamentaux » et les développements récents de l'écologie animale. (Liège, 26-29 octobre 1972) ; résultats des travaux publiés dans les *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*, tome 103, fascicule 1, 1973, 176 pages.

Dans le cadre des échanges permanents entre la Société Royale Zoologique de Belgique, Monsieur le Professeur JEUNIAUX a organisé avec succès une réunion des Zoologistes français et belges autour d'un thème

de discussion ayant trait à l'état d'avancement de l'Ecologie Animale dans nos deux pays. Les étudiants de l'Université de Liège avaient été conviés à assister aux journées du Colloque, et leur participation active dans les discussions a contribué à la pleine réussite de ce rendez-vous franco-belge. Auparavant, un séminaire présidé par Monsieur le Professeur HUBLE avait été consacré à l'examen des problèmes liés à l'organisation des travaux pratiques d'écologie au niveau de l'enseignement universitaire tant en France qu'en Belgique.

Les 17 communications présentées au cours de ces trois journées sont intégralement publiées dans ce fascicule des Annales Belges. Elles se répartissent en quatre thèmes principaux :

1) *Ecologie et populations*; conférenciers : Ph. LEBRUN de Louvain, M. LAMOTTE de Paris, J. HUBLE de Gand, V. LABEYRIE de Tours, R. R. TERCAPS de Bruxelles, J. C. PHILIPPART de Liège.

2) *Ecologie des milieux marins et saumâtres*; conférenciers : M. AMANIEU de Montpellier, J. C. J. NIHOUL de Liège, L. DE CONINCK de Gand, Ph. POLK de Bruxelles, J. BOUILLON de Bruxelles.

3) *Economes*; conférencier : J. PASTEELS.

4) *Ecologie des animaux du sol*; conférenciers : P. CASSAGNAU de Toulouse, M. DESIÈRE de Liège, M. SAHLI de Dijon, G. VANNIER de Brunoy, G. JOSENS de Bruxelles.

Pour se procurer le « fascicule écologique » des Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique, se mettre en rapport avec Monsieur le Professeur J. Cl. RUWET, Institut de Zoologie de l'Université, 22, quai Van Beneden, Liège, Belgique.

G. VANNIER.

Philippe GRAMET, 1973. — *Comment reconnaître les oiseaux de chez nous*. Flammarion, 26, rue Racine, Paris, 32 F, pp. 1-226, préface de Rémy CHAUVIN.

Cet ouvrage passe en revue beaucoup de nos oiseaux de façon attrayante. Il est illustré de 40 photos en couleurs et de 60 dessins.

Il s'agit d'un travail élémentaire où les aires permettent aux amateurs de la nature de s'orienter avec facilité dans le cadre de notre faune ornithologique. Tous les critères principaux sont bien présentés avec cette note de doux compagnonnage qui permet de déceler que notre collègue est un vrai naturaliste.

Ce livre est indispensable à tout écologiste et à tout laboratoire essayant d'initier des étudiants à la cause de la nature.

C. DELAMARE DEBOUTTEVILLE.

Dominique SOLTNER, ingénieur E.S.A. — *L'arbre et la haie, pour la production agricole, pour l'équilibre écologique et le cadre de vie rurale*. — Sainte-Gemmes-sur-Loire, *Sciences et techniques agricoles*, 1973, 27,5 cm, 104 p., ill. en noir, 15 F.

Cet excellent ouvrage s'adresse à toute personne soucieuse de conserver aux pays de bocage leur originalité en conciliant les impératifs de l'aménagement rural avec les nécessités biologiques et le désir d'horizons verdoyants.

En trois chapitres distincts, Dominique SOLTNER établit le bilan écologique des haies et brise-vent, présente l'utilisation la plus rationnelle des plantations existantes et propose des solutions pour l'amélioration de celles-ci.

En un texte clair et précis, d'une présentation très didactique, c'est en fait un véritable mode d'emploi de l'espace rural que nous propose l'auteur. Les exemples concrets et les renseignements techniques constituent l'essentiel de l'ouvrage et sont abondamment illustrés puisqu'une page sur deux est constituée de photographies en noir et blanc.

Ce livre de références est destiné tant à l'écologiste, que l'enseignant, le paysan, le responsable de l'aménagement rural ou le simple habitant des campagnes et mérite d'être diffusé largement. Se soustrayant, par sa concision et son bon sens, aux considérations verbales, voire littéraires sur la dégradation du paysage rural, Dominique SOLTNER nous place en face des réalités. Il ne reste plus qu'à concrétiser celles-ci dans nos paysages bocagers.

On peut se procurer le livre ou des dépliants gratuits en écrivant à : Sciences et techniques agricoles, le Clos Lorelle, 49470 Sainte-Gemmes-sur-Loire.

Michel LEROND.

A. HADAS, D. SWARTZENDRUBER, P. E. RUTEMA, M. FUCHS et B. YARON, 1973. — *Physical Aspects of Soil Water and Salts in Ecosystems*. Editeur Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 460 pages avec 221 figures.

Il s'agit du volume 4 de la célèbre série « *Ecological Studies* », *analysis et synthesis*, dirigée par J. JACOBS de Munich, O. L. LANGE de Würzburg, J. S. OLSON de Oak Ridge et W. WIESER de Innsbruck.

Le livre rassemble toutes les communications présentées au symposium « *Soil water physics and Technology* »

qui s'est tenu du 19 août au 4 septembre 1971 à Rehovot en Israël.

Les aspects théoriques et pratiques des principales questions que l'écologiste se pose à propos du cycle de l'eau sont abordés par les spécialistes les plus qualifiés. Le but de ce livre est non seulement de faire le point sur les plus récentes acquisitions de la recherche fondamentale, mais aussi de faire le lien entre la théorie et la pratique.

Trois grands thèmes sont tour à tour exposés.

I — *L'état de l'eau et le flux dans les sols*, avec une première partie consacrée aux mouvements de l'eau dans le sol et une autre partie à l'énergie de l'eau du sol et aux interactions sol-eau.

II — *L'évapotranspiration et les demandes hydriques des cultures* avec deux chapitres, l'un traitant de l'évaporation à partir du sol et à partir des plantes, l'autre

réservé aux fréquences d'irrigation conditionnées par des mesures précises de rétention hydrique dans le sol.

III — *Le contrôle de la salinité* est étudié en fonction des besoins physiologiques des différentes plantes. Entre autres articles, il est proposé un modèle mathématique pour l'eau et l'économie des éléments minéraux en culture irriguée.

Après l'analyse des écosystèmes forestiers en régions tempérées (volume 1), l'écologie expérimentale intégrée (volume 2), la biologie de l'océan Indien (volume 3), les écologistes auront à cœur de parfaire leurs connaissances en se référant à ce volume 4 que nous venons d'évoquer. Trois autres volumes sont actuellement en préparation et viendront compléter cette importante série ; il s'agit de l'irrigation des zones arides (volume 5), la génétique des écosystèmes forestiers (volume 6) et les écosystèmes du type méditerranéen (volume 7).

G. VANNIER.

— La vie de la Société est liée au paiement des cotisations. Payez-la rapidement (cf. p. 3 de couverture). Un effort a été fait pour ne pas augmenter la cotisation en 1975.

— Les *Annales de Spéléologie*, Tome XXIX, 1974, peuvent être acquises pour le prix de 90 F, pour un an, pour les nouveaux abonnés personnels, mais non pour les collectivités.



EDITIONS DU CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole France 75 - Paris-VII C.C.P. Paris 9061 11 Tél. : 555 26 70

Programme Biologique International

ÉCOLOGIE DU SOL

**NOUVEAUX DOCUMENTS
POUR UNE ÉTUDE INTÉGRÉE
EN ÉCOLOGIE DU SOL**

Le troisième volume de la série « Ecologie du Sol » traite essentiellement de problèmes microbiologiques, botaniques et climatiques rencontrés sur les stations du programme de la R.C.P 40 du C.N.R.S. Cinq thèmes sont successivement abordés :

- 1) Principes de méthodologie en microbiologie du sol;
- 2) Mesure de la fixation de l'azote moléculaire en forêt;
- 3) Etude écologique de la strate muscinale dans une pinède sur calcaire lousitanien en Lorraine;
- 4) Décomposition naturelle et expérimentale des feuilles de *Brachypodium pinnatum* P.B. microécologie et micromorphologie étudiées à l'aide des microscopes électroniques;
- 5) Dynamique et bilan de l'eau des sols de deux écosystèmes méditerranéens à chêne vert.



Ouvrage 21 × 27, 288 pages, 80 figures in-texte,
2 dépliant hors-texte, 1 planche hors-texte, relié.

PRIX : 91 F

15, quai Anatole-France 75700 PARIS
C.C.P. PARIS 9061-11

Tél. : 555.26.70